

KHUNG VÀ HỆ QUY CHIẾU TRÁI ĐẤT

ThS. BÙI THỊ HỒNG THẨM

Trường ĐH Tài nguyên và Môi trường HN

Tóm tắt:

Khung và hệ quy chiếu trái đất đã được ứng dụng trong thực tiễn giải quyết các vấn đề nghiên cứu khoa học có độ chính xác cao như địa động học, hệ quy chiếu quốc gia, quan trắc chuyển dịch mảng của vỏ trái đất,... Bài viết này giới thiệu khái quát về khung quy chiếu, hệ quy chiếu và các sản phẩm của khung quy chiếu trái đất quốc tế từ khi bắt đầu cho đến thời điểm hiện nay.

1. Khái quát chung

1.1. Các thuật ngữ

Hệ quy chiếu trái đất TRS (Terrestrial Reference System) là một hệ quy chiếu không gian có cùng góc xoay với trái đất trong sự chuyển động suốt ngày đêm của nó trong không gian.

Trong một hệ quy chiếu như vậy, việc định vị các vị trí điểm gắn với bề mặt của trái đất sẽ cho các tọa độ chịu sự tác động trong sự biến đổi của thời gian do bởi các ảnh hưởng của các hiện tượng địa vật lý (kiến tạo hoặc các sự thay đổi của thủy triều). Hệ quy chiếu được thiết lập bởi một hệ tọa độ Đề các trong không gian, có gốc trùng với tâm vật chất của trái đất, định hướng là xích đạo (trục Z hướng đến cực của trái đất) và đơn vị chiều dài là mét theo chuẩn quốc tế SI.

Việc chuyển đổi tọa độ của bất kỳ điểm nào liên quan đến trái đất từ hệ quy chiếu trái đất thứ nhất sang hệ quy chiếu trái đất thứ hai được xác định bởi công thức sau:

$$\vec{X}^{(2)} = \vec{T}_{1,2} + \lambda_{1,2} \cdot R_{1,2} \cdot \vec{X}^{(1)} \quad (1)$$

Trong đó: $\vec{T}_{1,2}$ là véc tơ chuyển đổi; $\lambda_{1,2}$ là véc tơ tỷ lệ; $R_{1,2}$ là véc tơ góc xoay ma trận.

Việc chuyển đổi thông thường giữa hai hệ quy chiếu là một phép biến đổi Olclit đồng dạng với 7 tham số: 3 thành phần tịnh tiến, một yếu tố tỷ lệ, và 3 góc xoay, các tham số

tương ứng là T1, T2, T3, D, R1, R2, R3 và ký hiệu đạo hàm theo thời gian của chúng tương ứng là $\dot{T}_1, \dot{T}_2, \dot{T}_3, \dot{D}, \dot{R}_1, \dot{R}_2, \dot{R}_3$. Công thức chuyển đổi véc tơ \vec{x}_1 trong hệ quy chiếu (1), sang véc tơ \vec{x}_2 trong hệ quy chiếu (2):

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_1 + \vec{T} + D\vec{X}_1 + R\vec{X}_1 \quad (2)$$

Trong đó: $\vec{T} = \vec{T}_{1,2}$, $D = \lambda_{1,2} - 1$, $R = R_{1,2} - I$ và I là ma trận đơn vị.

Giả sử công thức (2) tuyến tính, $\vec{x}_1, \vec{x}_2, T, D$ và R là các hàm của thời gian. Vi phân công thức (3) đối với thời gian được kết quả:

$$\dot{\vec{X}}_2 = \dot{\vec{X}}_1 + \dot{\vec{T}} + D\dot{\vec{X}}_1 + \dot{D}\vec{X}_1 + R\dot{\vec{X}}_1 + \dot{R}\vec{X}_1 \quad (3)$$

Giá trị D và R khoảng 10^{-5} và $\dot{\vec{X}}$ khoảng 10cm/năm nên quan hệ $D\dot{\vec{X}}_1$ và $R\dot{\vec{X}}_1$ tương ứng khoảng 0,1mm/100 năm là không đáng kể. Vì vậy, phương trình (3) được viết như sau:

$$\dot{\vec{X}}_2 = \dot{\vec{X}}_1 + \dot{\vec{T}} + \dot{D}\vec{X}_1 + \dot{R}\vec{X}_1 \quad (4)$$

Đây là công thức cơ bản để phân biệt giữa hệ quy chiếu theo định nghĩa lý thuyết và sự triển khai của nó, khung quy chiếu trái đất Terrestrial Reference Frame (TRF), nơi người sử dụng có thể truy cập.

Khung quy chiếu trái đất được định nghĩa như là sự triển khai của hệ quy chiếu trái đất, được xác định về gốc, các trục định hướng, tỷ lệ chiều dài và sự thay đổi của nó

theo thời gian.

1.2. Khung quy chiếu trái đất trong trắc địa không gian

7 tham số chuyển đổi là cần thiết để xác định một khung quy chiếu trái đất tại một thời kỳ xác định, bên cạnh đó là việc tính đạo hàm của chúng theo thời gian để xác định khung quy chiếu trái đất phát triển theo thời gian. Vì vậy, sự lựa chọn 14 tham số trong việc "xác định các yếu tố gốc" (datum) sẽ thiết lập khung quy chiếu trái đất với gốc, tỷ lệ, định hướng và sự phát triển của nó theo thời gian.

Các công nghệ trắc địa không gian không ảnh hưởng đến tất cả các tham số của việc xác định các yếu tố gốc của khung quy chiếu trái đất. Gốc của khung quy chiếu theo lý thuyết được xác định thông qua các kỹ thuật động học như đo laser đến mặt trăng LLR (Lunar Laser Ranging), đo laser đến vệ tinh SLR (Satellite Laser Ranging), hệ thống định vị vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS (Global Navigation Satellite System) và hệ thống DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) để xác định tâm khối vật chất của trái đất. Tỷ lệ của khung quy chiếu trái đất phụ thuộc vào các tham số vật lý (hằng số trọng trường trái đất (GM), tốc độ của ánh sáng (c) và tính tương đối của mô hình). Việc định hướng không phân biệt bởi bất kỳ công nghệ nào, là tùy ý hoặc theo quy ước. Trong lúc đó, để tính đến sự thay đổi của việc định hướng theo thời gian người ta sử dụng điều kiện quay không liên kết (NNR) "no-net-rotation" đối với các chuyển động kiến tạo ngang trên toàn trái đất.

Khi các giám sát trắc địa không gian không đáp ứng tất cả các thông tin cần thiết đến hoàn thành việc thiết lập một khung quy chiếu trái đất thì một số thông tin thêm vào là cần thiết để hoàn thành việc xác định các yếu tố gốc. Hiện nay trung tâm phân tích đã thêm vào sự ràng buộc trên tất cả hoặc một

tập hợp con của các trạm, đó là sự ràng buộc về di chuyển, ràng buộc lỏng và ràng buộc nhỏ nhất phục vụ cho việc xác định các yếu tố gốc.

1.3. Hệ quy chiếu trái đất quốc tế

Một hệ quy chiếu trái đất quốc tế được xác định đầy đủ bởi các điều kiện sau:

- Hệ quy chiếu trái đất quốc tế là hệ tọa độ địa tâm, gốc được chọn ở tâm vật chất của toàn bộ trái đất bao gồm các đại dương và khí quyển.

- Đơn vị chiều dài là mét, tỷ lệ phù hợp với hệ thống thời gian địa tâm (Geocentric Coordinate Time) cho khung địa phương với sự chấp nhận về các lời giải của Hiệp hội thiên văn quốc tế IAU (International Astronomical Union) và Hiệp hội trắc địa và địa vật lý quốc tế IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics).

- Việc định hướng được xác định theo cơ quan giờ quốc tế BIH (Bureau International de L'Heure) tại gốc lịch 1984.0.

- Việc định hướng và sự thay đổi theo thời gian được đảm bảo trong điều kiện quay không liên kết đối với các chuyển động kiến tạo ngang trên toàn trái đất.

1.4. Các triển khai của hệ thống quy chiếu trái đất quốc tế ITRS (International Terrestrial Reference System)

Các triển khai ban đầu của hệ thống quy chiếu trái đất quốc tế được đem lại bởi Tổ chức quốc tế về hệ quy chiếu và chuyển động quay của trái đất IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) dưới tên gọi khung quy chiếu trái đất quốc tế ITRF (International Terrestrial Reference Frame). 12 phiên bản của khung quy chiếu trái đất quốc tế đã được công bố, bắt đầu với ITRF88 và cuối cùng với ITRF2008. Cho đến sản phẩm ITRF2000, các giải pháp như các vị trí của trạm và vận tốc chuyển dịch từ 4 công nghệ (VLBI, SLR,

GPS và DORIS) đã được sử dụng như dữ liệu đầu vào của thể hệ khung quy chiếu trái đất quốc tế. Bắt đầu với ITRF2005, chuỗi thời gian của các vị trí trạm và các tham số định hướng trái đất EOP (Earth Orientation Parameters) được sử dụng như là dữ liệu đầu vào của việc xây dựng khung quy chiếu trái đất quốc tế. Với các phiên bản của khung quy chiếu trái đất quốc tế, số theo sau "ITRF" chỉ rõ năm cuối sử dụng dữ liệu để xác định các tham số của khung quy chiếu. Do đó, ITRF2008 là khung quy chiếu trái đất quốc tế (xây dựng trong năm 2010) sử dụng dữ liệu có giá trị đến hết năm 2008.

2. Các sản phẩm của khung quy chiếu trái đất quốc tế

Lịch sử của khung quy chiếu trái đất quốc tế bắt đầu từ năm 1984, khi lần đầu tiên khung quy chiếu trái đất được thiết lập dựa trên việc kết hợp dữ liệu của các trạm giám sát như giao thoa cạnh đáy dài VLBI (Very Long Baseline Interferometry), đo laser đến mặt trăng, đo laser đến vệ tinh và hiệu ứng Doppler. Các phiên bản của khung quy chiếu trái đất quốc tế đã được công bố:

* Từ ITRF88 đến ITRF93, việc xác định các yếu tố gốc của khung quy chiếu trái đất quốc tế được khái quát như sau:

- Gốc và tỷ lệ: xác định bởi lựa chọn các lời giải đo laser đến vệ tinh.

- Định hướng: xác định bởi sự liên kết kế tiếp bắt đầu từ hệ thống giờ trái đất năm 1987 BTS87 (BIH Terrestrial System 1987) và được liên kết với các trục tham số định hướng trái đất theo thời gian.

- Việc định hướng phát triển theo thời gian: trường vận tốc chuyển dịch toàn cầu không được ước lượng trong ITRF88, ITRF89 và ITRF90. Bắt đầu với ITRF91 đến ITRF93 việc kết hợp các trường vận tốc chuyển dịch đã được ước lượng. Tốc độ định hướng của ITRF91, ITRF92 và ITRF93 đã được liên kết để mô hình chuyển dịch toàn

cầu các mảng kiến tạo NUVEL-1 trong điều kiện quay không liên kết, trong đó ITRF93 đã được liên kết với các trục tham số định hướng trái đất (EOP).

* Kể từ ITRF94, các ma trận biến dạng của các lời giải riêng rẽ được kết hợp chặt chẽ để xác định khung quy chiếu trái đất quốc tế. Tại thời điểm đó, các yếu tố gốc ITRF94 đã được xác định:

- Gốc: được xác định bởi ảnh hưởng trung bình của lựa chọn các lời giải của công nghệ đo laser đến vệ tinh và định vị vệ tinh toàn cầu.

- Tỷ lệ: xác định bởi ảnh hưởng trung bình của các lời giải đo giao thoa cạnh đáy dài, đo laser đến vệ tinh và định vị vệ tinh toàn cầu có độ chính xác phù hợp với các yêu cầu của Hiệp hội trắc địa và địa vật lý quốc tế, Hiệp hội thiên văn quốc tế và tương thích với thời gian địa tâm, trong đó các trung tâm phân tích cung cấp các lời giải tương thích với thời gian trái đất (Terrestrial Time).

- Định hướng: liên kết với ITRF92.

- Việc định hướng phát triển theo thời gian: trường vận tốc chuyển dịch liên kết với mô hình kiến tạo mảng toàn cầu NUVEL-1A trong điều kiện quay không liên kết sử dụng 7 loại tham số chuyển đổi.

* ITRF96 đã được liên kết với ITRF94, và ITRF 96 đến ITRF 97 sử dụng 14 tham số chuyển đổi.

* ITRF2000 được mong đợi để cho lời giải chuẩn cho khung quy chiếu trái đất và các ứng dụng khoa học trên trái đất. Vì vậy, bên cạnh những trạm giám sát hàng đầu bởi VLBI, LLR, SLR, GPS và DORIS, ITRF2000 đã được xác định bởi các mạng lưới GPS khu vực ở Alaska, Antarctica, Châu Á, Châu Âu, Bắc và Nam Mỹ và Thái Bình Dương. ITRF2000 được đặc trưng bởi các đặc điểm sau:

- Gốc: thực hiện bởi việc đặt các thành

phần tịnh tiến bằng không và tốc độ chuyển dịch của nó giữa ITRF2000 và ảnh hưởng trung bình của các lời giải đo laser đến vệ tinh.

- Tỷ lệ: thực hiện bởi việc đặt tỷ lệ bằng không và các tham số vận tốc tỷ lệ giữa ITRF2000 và ảnh hưởng trung bình của các lời giải đo giao thoa cạnh đáy dài và đo laser đến vệ tinh. Tỷ lệ ở đây tương thích với thời gian trái đất.

- Định hướng: liên kết đến ITRF97 tại thời điểm 1997.0.

- Việc định hướng phát triển theo thời gian: liên kết với mô hình kiến tạo mảng toàn cầu NUVEL-1A trong điều kiện quay không liên kết.

Mạng lưới của khung quy chiếu trái đất quốc tế đã được phát triển theo thời gian với các quan hệ về số lượng của các vị trí và cùng vị trí cũng như sự phân bố của chúng trên toàn thế giới. Mạng lưới ITRF88 bao gồm khoảng 100 vị trí và 22 các trạm cùng vị trí (VLBI/SLR/LLR), mạng lưới ITRF2008 bao gồm 580 vị trí và 105 các trạm cùng vị trí (VLBI/SLR/GPS/DORIS).

* ITRF2005: Lần đầu tiên của lịch sử của khung quy chiếu trái đất quốc tế, ITRF2005 sử dụng dữ liệu đầu vào tập hợp thời gian của vị trí các trạm (hàng tuần từ kỹ thuật vệ tinh và 24 giờ lịch duyệt ca đo từ việc đo giao thoa cạnh đáy dài) và định hướng các trục hàng ngày. Mỗi tập hợp chuỗi thời gian đó được tính toán đến như là dữ liệu kết hợp đầu vào để xác định ITRF2005.

Nhìn chung việc xác định ITRF2005 gồm có 2 bước: bước 1 là số lượng lớn chuỗi thời gian riêng rẽ để ước lượng một lời giải lâu dài trên công nghệ bao gồm vị trí các trạm tại thời kỳ tham chiếu và vận tốc chuyển dịch cũng như là định hướng các trục tham số định hướng trái đất hàng ngày; bước 2 là kết hợp các lời giải lâu dài của 4 công nghệ cùng với sự ràng buộc cục bộ của các trạm

cùng vị trí. Vì vậy, thêm vào các sản phẩm thông thường của khung quy chiếu trái đất quốc tế (vị trí các trạm và vận tốc chuyển dịch), các kết quả quan trọng khác của ITRF2005 có giá trị sử dụng, cụ thể là:

- ITRF2005 và trên các tệp SINEX chứa vị trí các trạm, vận tốc chuyển dịch và định hướng các trục với các ma trận hiệp phương sai.

- Các sai số chuỗi thời gian của kết quả các số hiệu chỉnh vị trí trạm từ sắp xếp các chuỗi thời gian riêng lẻ của 4 loại công nghệ.

- Chuỗi thời gian địa tâm từ các lời giải đo laser đến vệ tinh và kỹ thuật DORIS, sử dụng các lời giải hàng tuần được liên kết đến ITRF2000.

- Chuỗi thời gian của định hướng các trục chứa đựng trong ITRF2005.

Gốc của ITRF2005 được xác định bằng cách không có sự chuyển đổi và các tốc độ chuyển dịch đối với tâm vật chất của trái đất, được xác định trung bình bởi chuỗi thời gian đo laser đến vệ tinh kéo dài 13 năm giám sát. Tỷ lệ được xác định bởi việc làm vô hiệu hoá tỷ lệ và vận tốc của nó đối với chuỗi thời gian đo giao thoa cạnh đáy dài kéo dài 26 năm giám sát. Kết quả công bố ITRF2005 dữ liệu đã được sử dụng trong việc xây dựng ITRF2005 không bao gồm việc hiệu chỉnh của triều cực trái đất như đã đề nghị của hội nghị IERS 2003. Việc định hướng ITRF2005 (tại thời kỳ 2000.0) và tốc độ của nó được kết hợp đến ITRF2000 sử dụng 70 trạm trắc địa có chất lượng cao.

* ITRF2008: Tiếp theo sự khởi đầu trong việc thực hiện xác định ITRF2005, ITRF2008 là một lời giải đã được thực hiện dựa trên các lời giải xử lý lại của 4 công nghệ trắc địa không gian: giao thoa cạnh đáy dài, đo laser đến vệ tinh, định vị vệ tinh toàn cầu và kỹ thuật DORIS kéo dài 29, 26, 12.5 và 16 năm trong việc giám sát, theo trình tự định sẵn. ITRF2008 là sự tổng hợp

của 934 trạm được đặt tại 580 vị trí với sự phân bố không đều giữa phía Bắc bán cầu (463 trạm) và phía Nam bán cầu (117 trạm), trong đó có tổng số 105 trạm cùng vị trí.

- Góc: Góc ITRF2008 được xác định theo cách không có các tham số chuyển đổi tại thời kỳ 2005.0 và không có tốc độ chuyển đổi đối với chuỗi thời gian của việc đo laser đến vệ tinh.

- Tỷ lệ: Yếu tố tỷ lệ bằng không tại thời điểm 2005.0 và tốc độ tỷ lệ bằng không đối với tỷ lệ trung bình và tốc độ tỷ lệ của việc đo giao thoa cạnh đáy dài và chuỗi thời gian đo laser đến vệ tinh.

- Định hướng ITRF2008 được xác định theo cách không có các thông số góc xoay tại thời điểm 2005.0 và không có tỷ lệ góc xoay giữa ITRF2008 và ITRF2005. Hai điều kiện này được ứng dụng để đặt 179 trạm tham chiếu định vị tại 131 vị trí, bao gồm

107 trạm định vị vệ tinh toàn cầu, 27 trạm đo giao thoa cạnh đáy dài, 15 trạm đo laser đến vệ tinh và 12 trạm DORIS.

3. Các tham số chuyển đổi từ ITRF2008 sang ITRF khác

(Xem bảng 1)

Bảng trên liệt kê các tham số chuyển đổi và các vận tốc của nó từ ITRF2008 đến các phiên bản khung quy chiếu trái đất quốc tế trước đó (đơn vị của vận tốc được hiểu là "trên năm").

4. Truy cập đến hệ thống quy chiếu trái đất quốc tế

Một số cách thường được sử dụng để truy cập:

- Trực tiếp sử dụng các vị trí trạm của khung quy chiếu trái đất quốc tế và các vận tốc chuyển dịch.

Bảng 1: Các tham số chuyển đổi từ ITRF2008 sang ITRF khác

ITRF	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3	Thời kỳ
	(mm)	(mm)	(mm)	10^{-9}	(mas)	(mas)	(mas)	
ITRF2005	-2	-0.9	-4.7	0.94	0	0	0	2000
Vận tốc	0.3	0	0	0	0	0	0	
ITRF2000	-1.9	-1.7	-10.5	1.34	0	0	0	2000
Vận tốc	0.1	0.1	-1.8	0.08	0	0	0	
ITRF97	4.8	2.6	-33.2	2.92	0	0	0.06	2000
Vận tốc	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF96	4.8	2.6	-33.2	2.92	0	0	0.06	2000
Vận tốc	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF94	4.8	2.6	-33.2	2.92	0	0	0.06	2000
Vận tốc	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF93	-24	2.4	-38.6	3.41	-1.71	-1.48	-0.3	2000
Vận tốc	-2.8	-0.1	-2.4	0.09	-0.11	-0.19	0.07	
ITRF92	12.8	4.6	-41.2	2.21	0	0	0.06	2000
Vận tốc	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF91	24.8	18.6	-47.2	3.61	0	0	0.06	2000
Vận tốc	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF90	22.8	14.6	-63.2	3.91	0	0	0.06	2000
Vận tốc	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF89	27.8	38.6	-101.2	7.31	0	0	0.06	2000
Vận tốc	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF88	22.8	2.6	-125.2	10.41	0.1	0	0.06	2000
Vận tốc	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	

(Xem tiếp trang 53)

Japanese Geodetic Datum 2000, Journal of the Geographical Survey Institute.

[4]. Chen Junyong. Chinese Modern Geodetic Datum - Chinese Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS 2000) and Its Frame. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008 (in Chinese).

[5]. Tang Y Z, Yang Y X, Song X Y. Adjustment method and result of national 2000 GPS control network (in Chinese). J Geod Geodyn.

[6]. Yang Y X. Main progress of geodetic coordination system in China Bull Surv Map, 2005.○

KHUNG VÀ HỆ QUY CHIẾU...

(Tiếp theo trang 47)

- Sử dụng các sản phẩm của Tổ chức quốc tế về hệ thống định vị vệ tinh dẫn đường toàn cầu IGS (International GNSS Service) (ví dụ như quỹ đạo vệ tinh và đồng hồ) liên quan đến khung quy chiếu trái đất quốc tế. Tuy nhiên, người sử dụng phải có kiến thức về các phiên bản của khung quy chiếu trái đất quốc tế và các sản phẩm của IGS.

- Cố định hoặc ràng buộc một vài các tọa độ của trạm của khung quy chiếu trái đất quốc tế trong sự phân tích đo đạc hệ thống định vị vệ tinh dẫn đường toàn cầu của các trạm động hoặc các trạm cố định.

- Sử dụng công thức chuyển đổi để tính toán giữa khung quy chiếu trái đất và khung quy chiếu trái đất quốc tế.○

Summary

TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM AND FRAME

MSc. Bui Thi Hong Tham

Ha Noi University for natural resources and environment

Terrestrial reference system and frame has used to solve many scientific issues which have degree of accuracy as kinetics, national terrestrial reference system, horizontal motions over the Earth,... This paper introduces overview about terrestrial reference system and frame, and produces of international terrestrial reference frame.○

5. Kết luận

Với sự phát triển của khoa học, kỹ thuật quan trắc, đo đạc và xử lý số liệu ngày càng nâng cao về độ chính xác. Từ những thành quả khoa học cho thấy, khung quy chiếu trái đất phiên bản sau đã thay thế cho khung quy chiếu trái đất phiên bản trước đó đáp ứng các yêu cầu nghiên cứu khoa học về trái đất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Đặng Nam Chinh, 2009, Hệ quy chiếu trắc địa, Trường Đại học Mỏ-Địa Chất.

[2]. Đỗ Ngọc Đường, Vấn đề khung tọa độ của trái đất, Trường Đại học Mỏ-Địa Chất.

[3]. <http://itrf.ensg.ign.fr/>

[4]. Boucher, 2001, Terrestrial coordinate systems and frames.

[5]. Altamimi, Z., Boucher, C., and Sillard, P., 2002, New trends for the realization of the International Terrestrial Reference System.○