

NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG VÀ PHÂN TÍCH CÁC NGUỒN SAI SỐ TRONG KỸ THUẬT ĐO CAO VỆ TINH

Đoàn Văn Chinh - NCS Đại học Vũ Hán, Trung Quốc
Bùi Thị Kiên Trinh - Đại học Thủy Lợi

Tóm tắt: Kỹ thuật đo cao vệ tinh (Satellite Altimetry) là một trong những kỹ thuật trắc địa không gian trọng lực vệ tinh tiên tiến nhất hiện nay. Kỹ thuật đo cao vệ tinh được ứng dụng để xác định hình dạng – kích thước Trái đất, trường trọng lực Trái đất, nghiên cứu bề mặt Geoid... Ngoài ra, nó còn được áp dụng trong nhiều lĩnh vực khoa học kỹ thuật như Hải dương học, Kỹ thuật Biển, Quản lý Tài nguyên Môi trường, Trắc địa Biển, Địa vật lý... Với mục tiêu bảo vệ chủ quyền biển đảo và chiến lược phát triển kinh tế hướng ra biển của Việt Nam hiện nay, kỹ thuật đo cao vệ tinh là một công cụ đắc lực cần chú trọng nghiên cứu và phát triển. Trong bài báo, chúng tôi trình bày về lịch sử phát triển của kỹ thuật đo cao vệ tinh và những thành quả đã đạt được, nguyên lý hoạt động của đo cao vệ tinh, đồng thời phân tích các nguồn sai số trong đo cao vệ tinh.

1. Lịch sử phát triển và những thông số kỹ thuật của các thế hệ vệ tinh hiện nay

Xác định hình dạng trái đất, trường trọng lực trái đất là một trong những nhiệm vụ quan trọng của Trắc địa. Như đã biết, diện tích đại dương chiếm hơn 70% bề mặt Trái đất, do đó công tác nghiên cứu đại dương bằng các thiết bị kỹ thuật đặt trên tàu thuyền không thể thực hiện được với quy mô toàn cầu. Vì vậy, ý tưởng về đo cao vệ tinh nảy sinh từ năm 1969, do W.M. Kaula - một GS Trắc địa vật lý- đề xuất. Sau đó, vào ngày 14/5/1973 cơ quan Hàng không vũ trụ Mỹ (NASA) đã phóng thành công vệ tinh đo cao đầu tiên với tên gọi “Phòng thí nghiệm không gian” – SKYLAB. Trải qua thời gian hơn 30 năm, nhiều nước đã lần lượt phóng các vệ tinh thế hệ tiếp theo, chủ yếu của các cơ quan Hàng không vũ trụ Mỹ, cơ quan Hàng không vũ trụ Châu Âu (ESA) và cơ quan Hàng không vũ trụ Pháp (CNES).

Các thế hệ vệ tinh do NASA phóng bao gồm vệ tinh địa cầu GEOS-3 (1975), vệ tinh nghiên cứu Biển SEASAT (1978), vệ tinh thực hiện các nhiệm vụ Trắc địa GEOSAT (1985), nhiệm vụ của 3 thế hệ vệ tinh này chủ yếu là nghiên cứu Trắc địa Biển, nghiên cứu bề mặt Geoid, khôi phục trường trọng lực Biển, trong đó số liệu do vệ tinh GEOSAT cung cấp có thể tính toán dị thường trọng lực với độ chính xác 3mgal.

Các thế hệ vệ tinh do ESA phóng bao gồm vệ tinh viễn thám thế hệ 1 ERS-1 (1991) vệ tinh

viễn thám thế hệ 2 ERS-2 (1995). Năm 1992 hai cơ quan hàng không vũ trụ NASA và CNES phối hợp phóng thành công vệ tinh nghiên cứu địa hình mặt biển TOPEX/POSEIDON (T/P). Trên hai vệ tinh T/P và ERS-2 có mang theo nhiều thiết bị quan trắc viễn thám, trong đó có các thiết bị định vị toàn cầu GPS, và thiết bị kỹ thuật nghiên cứu mô hình trọng trường trái đất (JGM-3, EGM), về độ chính xác đo độ cao có thể đạt tới cm, độ phân giải của các dải quét là 10km. Nhiệm vụ chủ yếu của vệ tinh T/P là làm tăng độ chính xác xác định địa hình, động lực bề mặt biển, nghiên cứu các dòng Hải lưu trên toàn cầu. Độ chính xác xác định độ cao khi sử dụng số liệu trùng lặp của nhiều chu kỳ qua nhiều năm tính toán có thể đạt được 3cm.

Hiện nay, thế hệ sau của vệ tinh GEOSAT là Geosat Follow On (GFO) được phóng lên quỹ đạo vào năm 1998, thế hệ sau của vệ tinh T/P là Jason-1 phóng năm 2001, năm 2002 vệ tinh thế hệ sau của ERS-1/2 là ENVISAT-1 cũng đã phóng thành công. Các vệ tinh này được phóng nhằm giải quyết đa mục tiêu như nghiên cứu dự báo về El Nino, La Nina và Hải băng, nghiên cứu thành lập bản đồ Biển, nghiên cứu thủy văn, quản lý Tài nguyên Môi trường Biển, giám sát tàu thuyền, ứng dụng trong quản lý khai thác Nông Lâm Ngư nghiệp, giám sát cảnh báo thiên tai lũ lụt, ô nhiễm... Các thông số kỹ thuật về các thế hệ vệ tinh và nhiệm vụ Trắc địa cơ bản của các thế hệ vệ tinh này được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1: Các thông số cơ bản và nhiệm vụ Trắc địa của các thể hệ vệ tinh

Thể hệ vệ tinh	Cơ quan chủ quản	Thời gian phóng lên quỹ đạo	Thông số quỹ đạo		Thời gian trùng lặp (ngày)	Độ chính xác xác định độ cao (cm)	Mục đích và phạm vi sử dụng đối với nhiệm vụ nghiên cứu trái đất
			Độ cao (km)	Góc nghiêng (°)			
Skylab	NASA	73.05.14	425	50	—	85-100	Thực nghiệm nguyên lý, nghiên cứu mặt GEOID
Geos-3	NASA	75.04.09	840	115	2	25-50	Nghiên cứu GEOID, Tốc độ gió, sóng biển, Hải băng, Hải lưu
Seasat	NASA	78.06.28	800	108	3/17	20-30	Nghiên cứu GEOID, tốc độ gió, Hải lưu
Geosat	U.S.Navy	85.03.15	800	108	23/17	10-20	Nghiên cứu GEOID, địa hình mặt biển, giám sát hoạt động trên biển
ERS-1	ESA	91.07.17	785	98.5	3/35/168	10	Nghiên cứu địa hình mặt biển, hoạt động trên biển, Môi trường Biển, Hải băng
T/P	NASA CNES	92.08.10	1336	66	10	6	Nghiên cứu GEOID, Địa hình mặt biển, Chuyển động tuần hoàn đại dương
ERS-2	ESA	95.04	785	98.5	3/35/168	10	Nghiên cứu địa hình mặt biển, hoạt động trên biển, Môi trường Biển, Hải băng
GFO	U.S.Navy	98.02.10	800	108	17	—	Nghiên cứu GEOID, địa hình mặt biển, hoạt động trên biển
Jason-1	NASA CNES	2001.12	1336	66	10	2.5	Đo cao so với mặt nước biển, địa hình mặt biển, chuyển động tuần hoàn đại dương
Envisat-1	ESA	2002.02	799.8	98.5	35	—	Như ERS-1/2, đồng thời giám sát môi trường biển
ICESat	ESA	2003.01	590	94	183	4.5	Nghiên cứu địa hình mặt biển, Môi trường Biển, Hải băng, mây
Jason-2	NASA CNES	2008.06	1336	66	10	2.5	Đo cao so với mặt nước biển, địa hình mặt biển, chuyển động tuần hoàn đại dương
Cryosat-2	ESA	2010.04	717	92	369	2.5	Nghiên cứu địa hình mặt biển, Môi trường Biển, Hải băng

2. Nguyên lý hoạt động của kỹ thuật đo cao vệ tinh

Nguyên lý hoạt động chính của kỹ thuật đo cao vệ tinh dựa trên nguyên lý bài toán vật lý tính quãng đường khi đã biết vận tốc và thời gian:

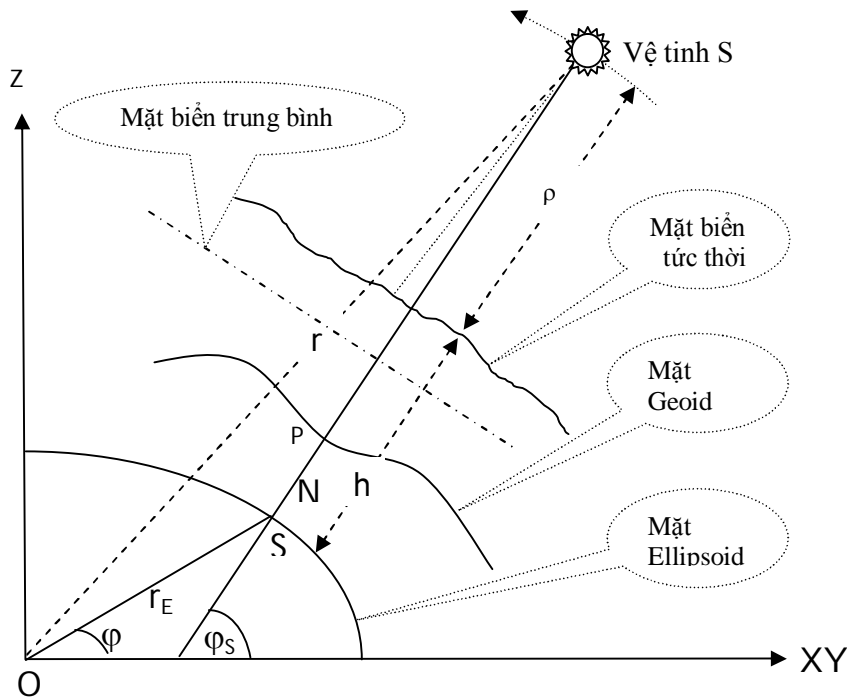
$$\rho = c \cdot \frac{\Delta t}{2} \quad (1)$$

Từ vệ tinh có lắp đặt thiết bị phát đi tín hiệu rada dạng xung (tần số 13.5 GHz) [1] đến bề mặt

nước biển, sau đó sóng xung này phản hồi lại hệ thống sẽ xác định được thời gian lan truyền, biết được tốc độ lan truyền xung, hoàn toàn có thể tính được khoảng cách từ vệ tinh đến bề mặt phản hồi (xem hình 1).

Để tính khoảng cách từ mặt nước biển đến bề mặt Ellipsoid trái đất, người ta sử dụng công thức sau [1]:

$$h = r - \rho - r_E + C_R \quad (2)$$



Hình 1

trong đó:

h : là khoảng cách từ mặt nước biển tức thời đến bề mặt Ellipsoid.

r : là bán kính quỹ đạo vệ tinh.

ρ : là khoảng cách từ bề mặt nước biển tức thời đến vệ tinh.

r_E : là bán kính vector điểm xét trên mặt Ellipsoid.

C_R : là số cải chính chuyển r_E về với phương của r , được tính theo công thức:

$$C_R = \frac{r_E}{8} \left[1 - \frac{r_E}{r} \right] e^4 \sin(2\varphi_s) \quad (2a)$$

Trong công thức (2a): e là độ dẹt của Ellipsoid, φ_s là vĩ độ của vệ tinh thời điểm xét. Lưu ý rằng e rất nhỏ mà bán kính quỹ đạo vệ tinh lại rất lớn nên C_R tính theo (2a) sẽ rất nhỏ, do vậy số cải chính C_R chỉ dùng trong phân tích lý thuyết. Chúng ta có thể tính h bằng công thức thực nghiệm sau:

$$h = r_c - \rho_{obs} - r_E + \Delta r + \Delta \rho \quad (3)$$

Các tham số trong công thức (3): Δr là sai số quỹ đạo, $\Delta \rho$ là sai số trị quan trắc, ρ_{obs} là trị quan trắc trực tiếp từ bề mặt phản xạ đến thiết bị đặt trên vệ tinh, r_c là khoảng cách từ vệ tinh đến tâm trái đất, có thể tính toán được nhờ các thông số lịch vệ tinh $\{X_s(t), Y_s(t), Z_s(t)$ hoặc $B_s(t), L_s(t), H_s(t)\}$ [1, 4].

Mặt khác khoảng cách mặt nước biển tức thời đến bề mặt Ellipsoid còn có thể được tính

theo công thức sau:

$$h = N + \zeta + \zeta_t + \tau + w \quad (4)$$

Trong công thức (4): N là độ cao của bề mặt Geoid, ζ là khoảng cách từ mặt nước biển trung bình đến mặt Geoid, ζ_t là khoảng cách từ mặt nước biển tức thời đến mặt nước biển trung bình. τ là số hiệu chỉnh thủy triều, w là số hiệu chỉnh khí tượng tổng hợp của sóng, gió và khí quyển... [1].

Căn cứ vào công thức (3) và công thức (4) ta có:

$$r_c - \rho_{obs} - r_E + \Delta r + \Delta \rho = N + \zeta + \zeta_t + \tau + w$$

Nếu như thay $h_c = r_c - \rho_{obs} - r_E$ ta sẽ được:

$$h_c = N + \zeta + \zeta_t + \tau + w - \Delta r - \Delta \rho$$

Trong đó h_c là độ cao mặt nước biển, trong công thức (6) nếu thay $N = N_0 + \Delta N^c + \Delta N^0$ [2] chúng ta có:

$$h_c = N_0 + \Delta N^c + \Delta N^0 + \zeta + \zeta_t + \tau + w - \Delta r - \Delta \rho$$

Ta cũng có:

$$\Delta h = h_c - N_0$$

Thay công thức (8) vào công thức (7) ta được:

$$\Delta h = \Delta N^c + \Delta N^0 + \zeta + \zeta_t + \tau + w - \Delta r - \Delta \rho$$

Trong công thức (9) Δh là chênh cao mặt biển, dùng trong tính toán xử lý số liệu địa hình mặt biển, đây cũng là mô hình toán học cơ bản của kỹ thuật đo cao vệ tinh. Các tham số chính trong công thức đã thể hiện được một số loại sai số ảnh hưởng đến trị đo, tuy nhiên vẫn chưa bao gồm ảnh hưởng của các yếu tố vật lý khác.

3. Phân tích ảnh hưởng của các nguồn sai số trong kỹ thuật đo cao vệ tinh

Nguyên lý của đo cao vệ tinh là dùng sóng Rada, sóng Rada lan truyền trong không gian ở độ cao cách mặt phản xạ hàng nghìn km sẽ là nguyên nhân sinh ra các nguồn sai số do môi trường, ngoài ra còn kể đến các sai số do kỹ thuật thiết kế chế tạo hệ thống và các yếu tố vật lý khác. Có thể phân loại các nguồn sai số trong đo cao vệ tinh thành 3 loại: Sai số do kỹ thuật thiết kế hệ thống; Sai số quỹ đạo vệ tinh; Sai số do môi trường.

3.1. Sai số do kỹ thuật thiết kế hệ thống

Sai số do kỹ thuật thiết kế hệ thống là sai số không thể tránh khỏi của các ngành kỹ thuật nói chung và kỹ thuật đo cao vệ tinh nói riêng, bao gồm những nguồn sai số sau:

- Sai lệch do hệ thống giám sát: Trong thiết kế tính toán và giám sát độ cao của quỹ đạo vệ tinh người ta dùng một loại sóng phản hồi liên lạc giữa trạm giám sát mặt đất và vệ tinh, tuy nhiên do sự ly tán sóng phản hồi dẫn đến sai lệch độ cao quỹ đạo vệ tinh.

- Sai số do méo tín hiệu: Cường độ và tốc độ của tín hiệu phát đi và thu về không giống nhau do ảnh hưởng của bộ điều khiển và tính toán của thiết bị gây ra.

- Sai số do đồng hồ.

Sai số tổng hợp của thiết kế hệ thống trong đo cao vệ tinh hiện nay khoảng 2-3cm.

3.2. Sai số do quỹ đạo vệ tinh

Quỹ đạo vệ tinh khi vận hành thực tế sẽ không thể được như thiết kế về góc nghiêng, độ cao... do sự sai lệch giữa tọa độ vệ tinh $\{X_S(t), Y_S(t), Z_S(t)\}$ hoặc $B_S(t), L_S(t), H_S(t)$ tính toán theo lịch vệ tinh và tọa độ thực tế của nó. Đây là nguyên nhân trực tiếp và cũng có ảnh hưởng lớn nhất đến kết quả của trị đo cao vệ tinh. Sai số quỹ đạo vệ tinh chủ yếu phân làm ba loại: Sai số bán kính quỹ đạo, Sai số khí áp, Sai số do ảnh hưởng của thủy triều.

Nguyên nhân gây ra sai số quỹ đạo vệ tinh là do trọng trường trái đất, do khí áp, do hiện tượng thủy triều và lực hút giữa các hành tinh... làm cho tọa độ của vệ tinh thực tế và tọa độ của vệ tinh tính toán theo lịch vệ tinh có sai lệch. Từ các thể hệ vệ tinh đầu tiên như SKYLAB, GEOS-3, SEASAT đến các thể hệ gần đây, sai số này đã giảm được đáng kể, đặc biệt là với thể hệ vệ tinh Topex/Pseidon thì sai số này chỉ còn vài cm và có thể làm giảm nhỏ nữa khi sử dụng phần mềm có chức năng hậu xử lý [3].

3.3. Sai số do môi trường

Tín hiệu Rada truyền từ vệ tinh đến bề mặt phản xạ và phản hồi lại, đã lan truyền qua tầng điện ly, tầng đối lưu, tiếp xúc với sóng biển... là nguyên nhân gây ra loại sai số này. Sai số do môi trường chủ yếu được phân làm 3 loại: Sai số ảnh hưởng của điện từ, Sai số ảnh hưởng của tầng điện ly, Sai số do ảnh hưởng của tầng đối lưu. Nguồn sai số này đối với các thể hệ vệ tinh sau này đã được cải thiện đáng kể. Với các phần mềm mới dùng mô hình toán thông kê, sai số này có thể giảm xuống đáng kể chỉ còn 1cm [3, 4].

Trị đo cao vệ tinh bị ảnh hưởng của rất nhiều loại sai số, để ứng dụng được trong thực tế cần hiệu chỉnh trị đo, lúc này để tính toán khoảng cách từ vệ tinh đến bề mặt Ellipsoid chúng ta dùng công thức sau [4]:

$$H = \rho + h_0 + \Delta h_{sg} + \Delta h_l + \Delta h_a + \Delta h_{EMbias} + \Delta h_g + \Delta h_t + \varepsilon$$

trong công thức (10): H là khoảng cách từ vệ tinh đến mặt Ellipsoid, ρ là trị quan trắc, h_0 là độ cao địa hình mặt biển so với mặt Ellipsoid, Δh_{sg} là sai số quy tâm thiết bị, Δh_m là sai số do máy móc, Δh_a là sai số do khí áp, Δh_{EMbias} là sai số điện từ, Δh_g là sai số do mặt geoid, Δh_t là sai số do Thủy triều, ε là các sai số khác.

Một số loại sai số cụ thể của các thể hệ vệ tinh đo cao được thống kê trong bảng 2.

Bảng 2: Một số loại sai số của các thể hệ vệ tinh (đơn vị cm)

Sai số	Thể hệ vệ tinh					
	Geos-3	Seasat	Geosat	ERS-1/2	Topex/Poseidon	
Do thiết bị	Rung lắc	50	10	5	3	<2
	Sai số thiết bị		7	5	3-5	2
	Sai số đồng hồ		5ms	3-5ms	1-2ms	<1ms
Do môi trường	Sai số EM	10	5	2	2	<2
	Sai số méo tín hiệu	2	1	1	1	1

Sai số	Thế hệ vệ tinh	Geos-3	Seasat	Geosat	ERS-1/2	Topex/ Poseidon
		Sai số do tầng đối lưu	5	4	2	2
	Sai số do tầng điện ly	2-3	2-3	2-3	2-3	1
Quỹ đạo vệ tinh	Trường trọng lực gây ra	50	25	15	15	<2
	Bức xạ khí áp		15	10	6	<2
	Khí quyển		15	10	6	<2
	Hằng số GM				2	1
	Thủy triều		12	5	5	<2
	Tầng đối lưu		5	4	2	1
	Vị trí trạm quan sát		10	5	3	1

4. Kết luận

Kỹ thuật đo cao vệ tinh hiện nay đã đạt được nhiều thành tựu vượt bậc, như ứng dụng liên hợp số liệu của vệ tinh Jason-1 và Envisat-1 để xác định trường trọng lực Biển trên phạm vi toàn cầu đạt độ chính xác 3mgal - 5mgal [1, 6]; hay nghiên cứu ứng dụng liên hợp số liệu của nhiều thế hệ vệ tinh đo cao trong xây dựng mô hình QuasiGeoid 2000 ở Trung Quốc với độ chính xác

1dm [1]... Tuy nhiên ở Việt Nam, đo cao vệ tinh là kỹ thuật khá mới mẻ. Điều này đặt ra sự cần thiết nghiên cứu về lý thuyết xử lý số liệu cũng như khả năng ứng dụng trong điều kiện nước ta. Đặc biệt cần đi sâu nghiên cứu phương pháp xử lý kết hợp số liệu của các thế hệ vệ tinh đo cao với số liệu trọng lực mặt đất và số liệu GPS thủy chuẩn trong xác định mô hình thủy triều, mô hình Geoid, trường trọng lực Trái đất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 李建成等, 地球重力场逼近理论与中国2000似大地水准面的确定, 武汉大学出版社, 2006.
- [2] 李建成, 宁津生, 晁定波, 姜卫平. 卫星测高技术在大地上测量中的应用及进展, 2006
- [3] 李建成, 王正涛, 胡建国. 利用Topex/Poseidon和ERS-2以及Geosat卫星测高数据分析全球和中国海平均海面变化. 武汉测绘科技大学学报.
- [4] 姜卫平. 卫星测高技术在大地上测量学中的应用. 武汉大学, 2000.
- [5] 李建成, 姜卫平等. 联合多种卫星测高数据建立高分辨率中国海平均面高模型. 武汉大学学报, 2006.
- [6] Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications, 2000.

Abstract:

HISTORICAL DEVELOPMENT AND PRINCIPLES OF SATELLITE ALTIMETRY – ANALYSIS OF ERROR SOURCES

Doan Van Chinh –Master Student in Wuhan University, China

Bui Thi Kien Trinh – Geomatics centre, Water Resource University, Vietnam

Satellite Altimetry is one of the today's most advanced satellite gravimetry geodesy techniques. It has a history of development since 1969. From 1973 to present there are eight generations of satellites in orbit have been launched. Satellite Altimetry has wide applications in areas such as geodesy, oceanography, geophysics, environmental management. In the process of industrialization and modernization of Vietnam, various sectors including Satellite Altimetry should be invest in research and development. In this paper, we study the principles of Satellite Altimetry, as well as analyze sources of error of Satellite Altimetry.