

TÍNH TOÁN QUỹ ĐẠO VỆ TINH CÓ TÍNH ĐẾN SỰ KHÔNG CẦU CỦA TRÁI ĐẤT, LỰC CẢN KHÍ QUYỂN VÀ VEC TƠ LỰC ĐẨY

NGUYỄN ĐỨC CƯƠNG¹, HOÀNG ANH TỬ²

¹Hội Hàng không-Vũ trụ Việt Nam (VASA)

²Học viện Phòng không-Không quân

Tóm tắt. Bài báo giới thiệu thuật toán và chương trình tính toán các thông số chuyển động và các thông số quỹ đạo của vệ tinh quay quanh trái đất như là một chất điểm. Bài toán được giải bằng phương pháp tích phân số trực tiếp từ phương trình động lực học chuyển động của vệ tinh có xét đến ảnh hưởng của lực cản khí quyển, tính không cầu của trái đất và vectơ lực đẩy của động cơ hiệu chỉnh quỹ đạo. Một số ví dụ tính toán cho thấy các kết quả thu được bằng chương trình này phù hợp về định tính và định lượng với các kết quả đã công bố của các tác giả khác.

Abstract. The paper presents algorithms and program for calculation of satellite's motion & its orbits parameters around the Earth as a point mass. The problem is solved directly by numerical method based on satellite's motion dynamic equation with consideration of atmospheric drag, nonspherical form of the Earth and thrust vector of orbit's correction propulsion system. Some received calculation results show the qualitative and quantitative fitness with the published results of the other authors.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để đưa vệ tinh lên quỹ đạo, trước tiên ta phải tính toán các thông số quỹ đạo của vệ tinh, đây là nhiệm vụ quan trọng hàng đầu. Do có chuyển động quay hàng ngày nên Trái Đất không phải là một hình cầu lý tưởng mà nó có hình dạng phỏng cầu dẹt với đường kính xích đạo lớn hơn đường kính cực khoảng 20 km. Sự phình ra tại xích đạo tạo ra một lực kéo vệ tinh trở lại mặt phẳng xích đạo bất kỳ khi nào nó nằm ở phía trên hay phía dưới mặt phẳng này và vì thế nó có xu thế kéo mặt phẳng quỹ đạo trùng với mặt phẳng xích đạo. Do vậy nếu coi Trái Đất là hình cầu thì việc tính toán quỹ đạo của vệ tinh sẽ có sai lệch. Ngoài ra lực cản của khí quyển Trái Đất đối với các vệ tinh quỹ đạo thấp tuy không lớn nhưng nó có ảnh hưởng nhiều đến tuổi thọ của vệ tinh. Chính vì vậy khi tính toán quỹ đạo vệ tinh quỹ đạo thấp cần thiết phải tính đến sự không cầu của Trái Đất và lực cản khí quyển. Ngoài ra, để hiệu chỉnh quỹ đạo vệ tinh người ta thường phải dùng động cơ phản lực làm việc trong một khoảng thời gian nhất định. Trên thế giới đã có nhiều công trình công bố về tính toán quỹ đạo vệ tinh, ví dụ [1-3], tuy nhiên phần mềm cụ thể để tính toán quỹ đạo có xét đến các yếu tố nói trên ta chỉ có thể mua với giá đắt và không có mã nguồn. Bài báo giới thiệu thuật toán và chương trình tính toán quỹ đạo của vệ tinh quay quanh Trái Đất có xét đến ảnh hưởng của cả 3 yếu tố trên.

2. TÍNH TOÁN CÁC THÔNG SỐ CHUYỂN ĐỘNG CỦA VỆ TINH

Trong khuôn khổ của vật lý Newton, chuyển động của vệ tinh dưới sự tác động của một lực F được mô tả bởi phương trình vi phân

$$\ddot{r} = F(t, r, v)/m, \quad (1)$$

ở đây r và v là vị trí và vận tốc của vệ tinh trong hệ tọa độ địa tâm không quay, và m là khối lượng của vệ tinh.

Ở đây chỉ xét véc tơ lực F được tổng hợp từ 3 thành phần: Lực hấp dẫn, lực cản khí quyển và lực đẩy động cơ của vệ tinh còn các thành phần lực hấp dẫn và nhiễu động phi hấp dẫn khác rất nhỏ có thể bỏ qua.

Véc tơ gia tốc được tổng hợp từ 3 thành phần: gia tốc do lực hấp dẫn, do lực cản khí quyển và do lực đẩy động cơ của vệ tinh gây ra.

A. Gia tốc do lực hấp dẫn gây ra cho vệ tinh

Khi tính toán quỹ đạo vệ tinh có tính tới ảnh hưởng của tính không cầu của Trái Đất, gia tốc vệ tinh do lực hấp dẫn của Trái Đất gây ra trong hệ tọa độ cố định với Trái Đất được thể hiện dưới dạng một hàm của vectơ vị trí so với Trái Đất $r = (x, y, z)$ là

$$\ddot{r} = (\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}),$$

với

$$\ddot{x} = \sum_{n,m} \ddot{x}_{nm}, \quad \ddot{y} = \sum_{n,m} \ddot{y}_{nm}, \quad \ddot{z} = \sum_{n,m} \ddot{z}_{nm}, \quad (n = 0 \div \infty, m = 0 \div n).$$

trong đó các gia tốc thành phần

$$\begin{aligned} \ddot{x}_{nm} \stackrel{(m=0)}{=} \frac{GM}{R_{\oplus}^2} - C_{n0} V_{n+1,1} \stackrel{(m>0)}{=} \frac{GM}{R_{\oplus}^2} \frac{1}{2} \{ (-C_{nm} V_{n+1,m+1} - S_{n,m} W_{n+1,m+1}) \\ + \frac{(n-m+2)!}{(n-m)!} (+C_{nm} V_{n+1,m-1} + S_{nm} W_{n+1,m-1}) \}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ddot{y}_{nm} \stackrel{(m=0)}{=} \frac{GM}{R_{\oplus}^2} - C_{n0} W_{n+1,1} \stackrel{(m>0)}{=} \frac{GM}{R_{\oplus}^2} \frac{1}{2} \{ (-C_{nm} W_{n+1,m+1} + S_{n,m} W_{n+1,m+1}) \\ + \frac{(n-m+2)!}{(n-m)!} (-C_{nm} W_{n+1,m-1} + S_{nm} W_{n+1,m-1}) \}, \end{aligned}$$

$$\ddot{z}_{nm} \stackrel{(m=0)}{=} \frac{GM}{R_{\oplus}^2} (n-m+1) (-C_{nm} V_{n+1,m} - S_{nm} W_{n+1,m}),$$

Ở đây C_{nm} và S_{nm} là các hệ số hàm địa thế năng, $GM=3,986.10^{12} \text{ m}^3/\text{s}^2$. Các giá trị gần đúng của các hệ số hàm địa thế năng bậc thấp được cho trong Bảng 3.2 của tài liệu [1].

Các hệ số V_{nm} và W_{nm} được xác định như sau:

$$V_{nm} = (2m - 1) \frac{xR_{\oplus}}{r^2} V_{m-1,m-1} - \frac{yR_{\oplus}}{r^2} W_{m-1,m-1}, \quad (2)$$

$$W_{nm} = (2m - 1) \frac{xR_{\oplus}}{r^2} W_{m-1,m-1} - \frac{yR_{\oplus}}{r^2} V_{m-1,m-1}$$

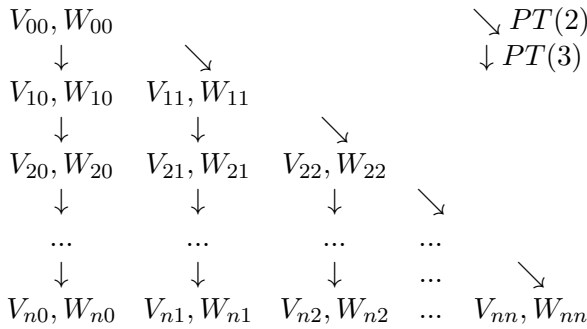
Và

$$V_{nm} = \frac{(2n - 1) zR_{\oplus}}{n - m} V_{n-1,m} - \frac{(n + m - 1) R_{\oplus}^2}{n - m} V_{n-2,m},$$

$$W_{nm} = \frac{(2n - 1) zR_{\oplus}}{n - m} W_{n-1,m} - \frac{(n + m - 1) R_{\oplus}^2}{n - m} W_{n-2,m}, \quad (3)$$

với $V_{00} = \frac{R_{\oplus}}{r}$ và $W_{00} = 0$ đã biết.

Để tính tất cả V_{nm} và W_{nm} , ($0 \leq m \leq n \leq n_{\max}$), trước hết ta phải tính các số hạng vùng V_{n0} bằng cách sử dụng (3) với $m = 0$. Các giá trị W_{n0} tương ứng đều bằng 0. Khi đó (2) sẽ cho các số hạng đẳng tích (tesseral) V_{11} và W_{11} từ V_{00} , cho phép xác định tất cả V_{n1} , ($1 \leq n \leq n_{\max}$). Do đó các phép đệ quy được sử dụng theo sơ đồ sau:



Việc xây dựng các phương trình này được Cunningham (1970) đưa ra cùng với các quan hệ tương tự cho các đạo hàm riêng bậc 2 của hàm thế năng. Chú ý rằng các số hạng $V_{\nu\mu}$ và $W_{\nu\mu}$ phải có bậc và cấp đến $n + 1$ nếu cần tính các gia tốc thành phần do các hệ số địa thế năng đến C_{nm} và S_{nm} gây ra.

Các công thức nói trên cho ta gia tốc $\ddot{r}_{hd} = (\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z})$ trong hệ tọa độ cố định với Trái Đất dưới dạng một hàm của vectơ vị trí cố định với Trái Đất $r = (x, y, z)$. Do đó cần phải có một số phép biến đổi tọa độ để có thể nhận được gia tốc trong hệ tọa độ quán tính nhất quán với phương trình chuyển động (1).

B. Gia tốc do lực cản khí quyển gây ra cho vệ tinh

Lực cản khí quyển là nhiễu động phi hấp dẫn lớn nhất tác dụng lên các vệ tinh bay ở quỹ đạo thấp. Lực khí quyển chính tác dụng lên các vệ tinh bay ở quỹ đạo thấp, được gọi là lực cản khí quyển, có chiều ngược với chiều vận tốc chuyển động của vệ tinh so với dòng khí

quyển, do đó làm giảm vận tốc của vệ tinh. Sự phụ thuộc của lực cản vào vận tốc của vật thể so với khí quyển v_r có thể được xác định một cách đơn giản như sau:

$$Q = 0,5C_x\rho v_r^2 S. \quad (4)$$

Gia tốc của vệ tinh do lực cản Q gây ra vì thế có thể được viết

$$\ddot{r}_{kq} = -\frac{1}{2}C_x \frac{S}{m} \rho v_r^2 e_v, \quad (5)$$

ở đây m là khối lượng vệ tinh. Hệ số lực cản C_x là đại lượng không thứ nguyên mô tả tương tác của khí quyển với vật liệu bề mặt của vệ tinh. Các giá trị điển hình của C_x nằm trong khoảng 1,5 – 3,0. Chiều của gia tốc cản luôn ngược với vectơ vận tốc tương đối được biểu thị bởi vectơ đơn vị $e_v = v_r/v_r$.

Tỷ số diện tích trên khối lượng S/m về nguyên tắc đòi hỏi phải biết tư thế của vệ tinh. Tuy nhiên, có thể giả thiết tỷ số diện tích trên khối lượng không đổi trong chế độ trở về phía Trái Đất, mà ở đó một trong các trục quán tính chính của vệ tinh luôn có hướng trùng với vectơ hướng kính.

Vận tốc tương đối của vệ tinh so với khí quyển phụ thuộc vào động lực học khí quyển. Tuy nhiên, giá trị gần đúng hợp lý của vận tốc tương đối nhận được với giả thiết rằng khí quyển cùng quay với Trái Đất, tức là có thể viết

$$v_r = v - \omega_{\oplus} \times r, \quad (6)$$

với vectơ vận tốc quán tính của vệ tinh v , vectơ vị trí r , và vận tốc góc của Trái Đất

$$|\omega| = 0,7292.10^{-4} rad/s.$$

Mô hình *J71* cho ta sự mô tả hợp lý mật độ khí quyển với chi phí tính toán vừa phải và vì vậy nó được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực xác định và dự báo quỹ đạo [2]. Việc tính toán mật độ khí quyển trong mô hình *J71* được thực hiện theo ba bước:

1. Nhiệt độ tầng ngoại quyển T_{∞} được tính toán từ các số liệu về hoạt động của Mặt Trời và từ chỉ số địa từ, kết hợp với mô hình biến thiên ngày đêm trong khí quyển.

2. Một khi T_{∞} đã biết thì biên dạng thời gian được tính toán và được dùng làm đầu vào để tích phân phương trình khuếch tán hoặc phương trình khí áp (bất kỳ phương trình nào mà có thể áp dụng được). Việc tích phân này mất rất nhiều thời gian. Và giải pháp thay thế là sử dụng các hệ số xấp xỉ nhị đa thức (bi-polynomial fit) để tính các giá trị mật độ chuẩn.

3. Sử dụng các hiệu chỉnh phụ thuộc thời gian đối với mật độ có tính đến các biến thiên mật độ quan sát được.

Một cách biểu diễn dạng nhị đa thức của mật độ ρ (tính theo kg/m³)

$$\log \rho(Z, T_{\infty}) = \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^4 c_{ij} \left(\frac{Z}{1000km} \right)^i \left(\frac{T_{\infty}}{1000K} \right)^j, \quad (7)$$

Ở đây Z – độ cao của vệ tinh tính theo km ; T_∞ - nhiệt độ tầng ngoài quyển (K); c_{ij} – các hệ số xác định theo bảng 3.9 của tài liệu [1]. Trong chương trình tính toán ta giả thiết $T_\infty = 1000K$.

C. Gia tốc do lực đẩy gây ra cho vệ tinh

Bên cạnh các lực tự nhiên đã được xem xét, chuyển động của vệ tinh còn có thể bị ảnh hưởng bởi tác động của hệ thống lực đẩy trên khoang. Các động cơ đẩy thường được sử dụng để điều khiển quỹ đạo, điều khiển tư thế hay cả hai, và thể hiện đa dạng mức độ làm việc và thời gian cháy. Do có tác động quan trọng đối với quỹ đạo vệ tinh nên lực đẩy phải được tính đến khi dự báo quỹ đạo bằng cách sử dụng mô hình toán học đầy đủ.

Để đảm bảo sự tương thích với các mô hình cơ động xung được sử dụng rộng rãi, ở đây chọn cách biểu diễn theo các gia số vận tốc.

Dưới tác dụng của hệ thống đẩy phụt ra một khối lượng nhiên liệu $|dm| = |\dot{m}|dt$ trong khoảng thời gian dt với vận tốc v_e , vệ tinh có khối lượng m chịu một lực đẩy:

$$F_{dc} = |\dot{m}|v_e, \quad (8)$$

và tạo ra gia tốc:

$$a = \frac{F_{dc}}{m} = \frac{\dot{m}}{m}v_e, \quad (9)$$

Lấy tích phân trên khoảng thời gian cháy Δt , gia số vận tốc toàn phần được cho bởi:

$$\Delta v = \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} a(t)dt = -v_e \int_{m_0}^{m(t_0+\Delta t)} \frac{1}{m} dm = -v_e \frac{m(t_0 + \Delta t)}{m_0}, \quad (10)$$

hay

$$\Delta v = -\frac{F_{dc}}{|\dot{m}|} \ln\left(1 - \frac{|\dot{m}|\Delta t}{m_0}\right), \quad (11)$$

nếu giả thiết tốc độ tiêu hao khối lượng \dot{m} là không đổi.

Bằng cách sử dụng gia số vận tốc toàn phần Δv , gia tốc có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$a(t) = \frac{|\dot{m}|}{m(t)} \frac{1}{-\ln\left(1 - \frac{|\dot{m}|\Delta t}{m_0}\right)} \Delta v, \quad (12)$$

và tiệm cận đến giá trị giới hạn:

$$a(t) \approx \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (13)$$

trong trường hợp tiêu hao khối lượng là không đáng kể ($|\dot{m}|\Delta t \ll m_0$).

Chuyển động một chiều đã xét có thể được tổng quát hóa bằng cách đưa vào bộ các vectơ đơn vị trục giao phụ thuộc thời gian e_1, e_2, e_3 với các thành phần vectơ lực đẩy được chiếu không đổi F_1, F_2, F_3 . Vectơ gia tốc toàn phần được cho bởi:

$$a(t) = \frac{1}{m} E \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

Hay

$$a(t) = \frac{|\dot{m}|}{m(t)} \frac{1}{-\ln\left(1 - \frac{|\dot{m}|\Delta t}{m_0}\right)} E \Delta v, \quad (15)$$

$$\text{Ở đây } \Delta v(t) = \begin{pmatrix} \Delta v_1 \\ \Delta v_2 \\ \Delta v_3 \end{pmatrix} \quad (16)$$

là vectơ gia số vận tốc trong hệ tọa độ lực đẩy đã chọn, còn ma trận quay

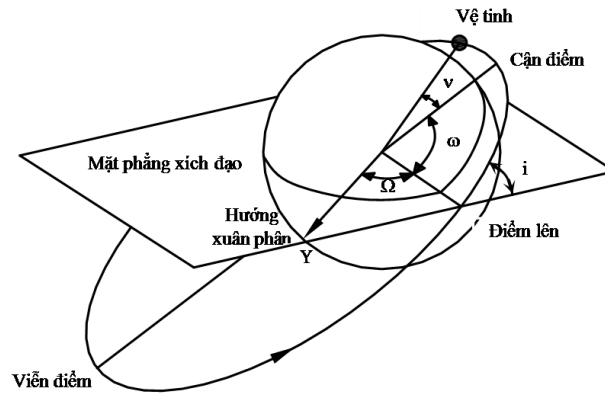
$$E(t) = (e_1, e_2, e_3), \quad (17)$$

thực hiện việc chuyển đổi sang hệ tọa độ quán tính được dùng để mô tả chuyển động của vệ tinh.

Tích phân gia tốc tổng hợp $\ddot{r} = \ddot{r}_{hd} + a + \ddot{r}_{kq}$ trong khoảng thời gian dt xác định được các thành phần vận tốc V_x, V_y và V_z trong hệ tọa độ quán tính địa tâm với điều kiện đầu là kết quả tính của bước thời gian dt trước đó. Trong từng bước thời gian, ta sử dụng phương pháp tích phân số theo Runge-Kutta.

Tương tự như trên, tích phân V_x, V_y và V_z trong khoảng thời gian dt xác định được tọa độ X, Y và Z của vệ tinh trong hệ tọa độ quán tính địa tâm.

3. XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ QUỹ ĐẠO CỦA VỆ TINH



Hình 1. Các thông số quỹ đạo vệ tinh trong không gian. (Ω - Góc lệch phải của điểm lên; ω - Đối của cận điểm; v - Vị trí hiện tại của vệ tinh; i - Góc nghiêng mặt phẳng quỹ đạo)

- Vị trí của vệ tinh trong hệ tọa độ quán tính địa tâm (ECI)
- + Độ lệch thiên đỉnh:

$$\delta = \arctg(Z/\sqrt{X^2 + Y^2})$$

+ Khoảng cách từ tâm Trái Đất đến vệ tinh:

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

+ Độ cao của vệ tinh so với Trái Đất: $h = r - R_0$, với R_0 - bán kính Trái Đất.

- Vị trí của vệ tinh trong hệ tọa độ địa lý

+ Vĩ độ địa tâm:

$$\varphi = \frac{180}{\pi} \arctg(Z/\sqrt{X^2 + Y^2})$$

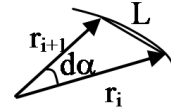
+ Kinh độ:

$$\Phi = \frac{180}{\pi} \arctg(X/Y) - \omega_{\oplus t} - \alpha_0$$

ở đây α_0 – độ lệch ban đầu của kinh tuyến gốc so với trục xuân phân

- Chu kỳ quay quanh Trái Đất của vệ tinh:

$$T = \sum_{\sum d\alpha < 2\pi} dt,$$



ở đây: dt là thời gian vệ tinh quay quanh Trái Đất một góc $d\alpha$.

$$d\alpha = \arccos((r_i^2 + r_{i+1}^2 - L^2)/2r_i r_{i+1})$$

- Góc nghiêng quỹ đạo (i): Góc nghiêng quỹ đạo là vĩ độ địa tâm lớn nhất, tức là: $i = \max(\varphi_i)$.

- Góc lệch phải của điểm lên: Được xác định từ điều kiện khi vệ tinh đi qua điểm lên thì tọa độ Z của vệ tinh đổi dấu từ “âm” sang “dương”, tức là khi $Z_{i+1}.Z_{i-1} < 0$ và $Z_i = 0$ thì kinh độ điểm lên của quỹ đạo là: $\Omega = \arctg(Y_i/X_i).180/\pi$.- Cận điểm: $r_{cd} = \min(r_i)$ suy ra $X_{cd} = X_i, Y_{cd} = Y_i$ và $Z_{cd} = Z_i$.

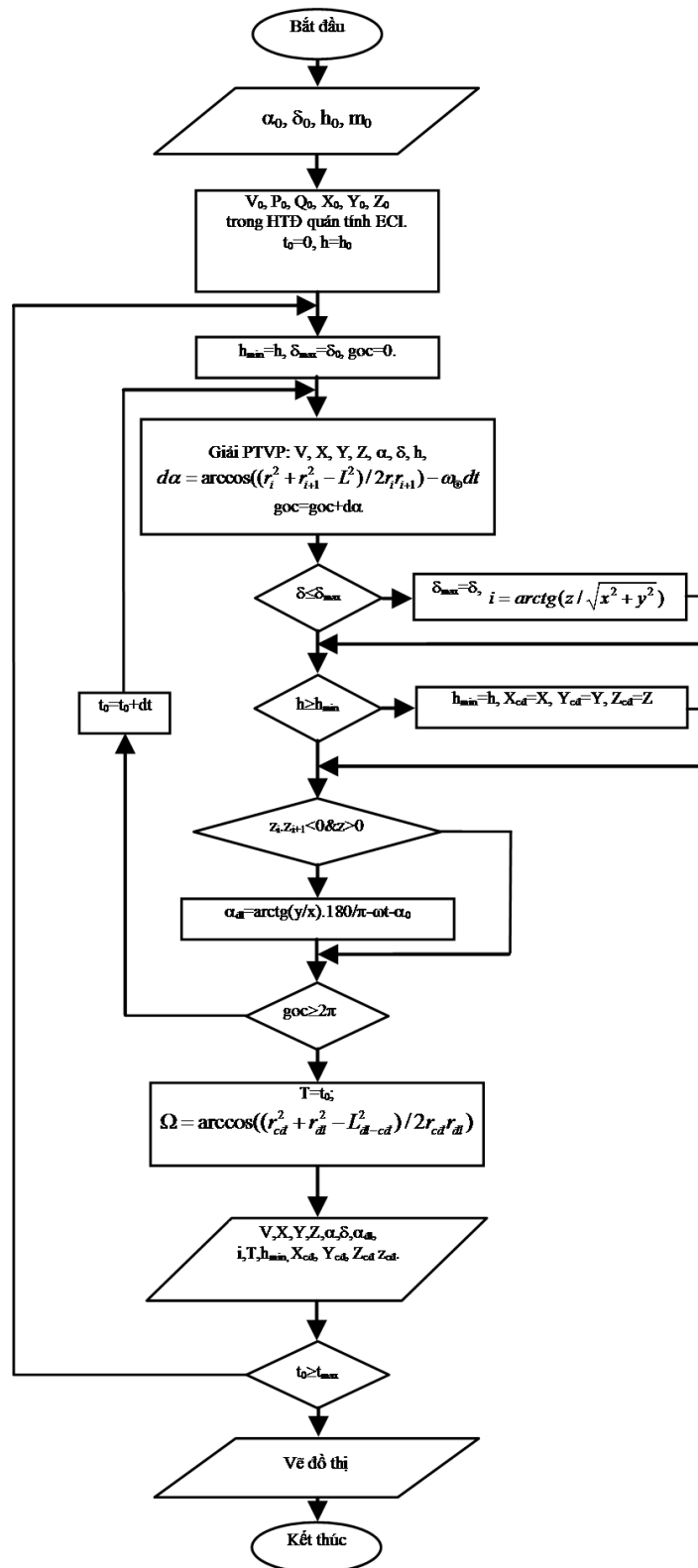
- Đối của cận điểm (ω): là góc giữa bán kính quỹ đạo tại điểm lên và tại cận điểm, tức:

$$\omega = \arccos((r_{cd}^2 + r_{dl}^2 - L_{dl-cd}^2)/2r_{cd}r_{dl}).180/\pi,$$

Ở đây L_{dl-cd} - khoảng cách từ vị trí vệ tinh tại điểm lên đến vị trí vệ tinh tại cận điểm.

4. PHẦN MỀM TÍNH TOÁN QUỸ ĐẠO

Trên cơ sở các phân tích ở trên ta xây dựng lưu đồ thuật toán xác định các thông số chuyển động và các thông số quỹ đạo vệ tinh như sau (hình 2).



Hình 2. Lưu đồ thuật toán tính toán các thông số quỹ đạo vệ tinh

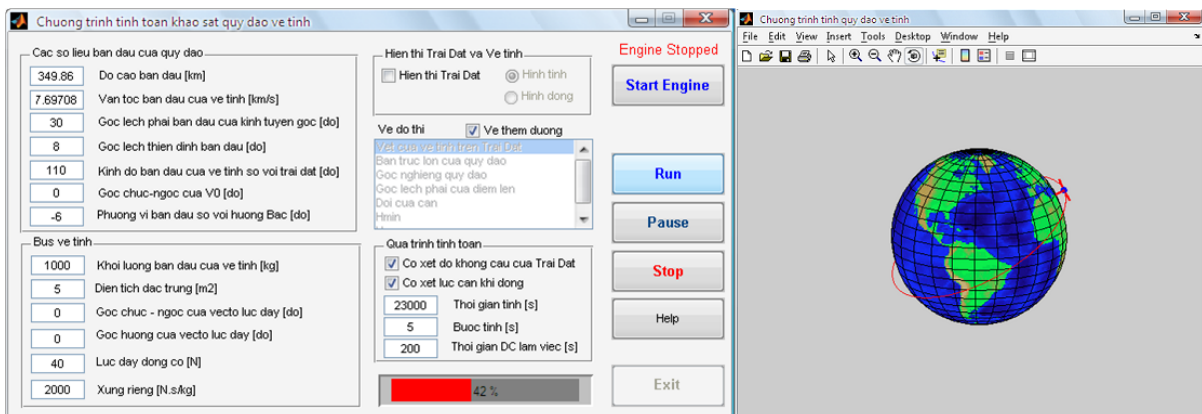
Dựa trên lưu đồ thuật toán trên, đã xây dựng được phần mềm tính toán các tham số quỹ đạo chuyển động của vệ tinh. Phần mềm được viết trong MATLAB 7.4. Đã tiến hành khảo sát tính hội tụ của nghiệm giải bằng phương pháp số khi thay đổi bước thời gian dt . Kết quả khảo sát cho thấy khi giảm dt từ 6s xuống 4s và 2s các nghiệm trùng khít nhau cả 4 đến 6 chữ số có nghĩa. Vì vậy nên lấy $dt = 4s$. Thời gian tính toán trên các máy tính CPU 2 GHz, RAM 1 Gb phổ biến hiện nay chỉ vào khoảng vài phút (nếu không hiển thị hình Trái Đất), khi thời gian bay của vệ tinh cần tính toán là 15h (tương ứng với khoảng hơn 10 vòng quanh Trái Đất khi bay ở quỹ đạo thấp).

Để kiểm tra phần mềm đã tiến hành những bước sau:

- Kiểm tra kết quả tính bằng phần mềm này khi bỏ các yếu tố không cầu, lực cản và lực đẩy, kết quả trùng khít với quỹ đạo Kepler;
- Kiểm tra định tính: khi tăng giảm độ cao quỹ đạo, tăng giảm diện tích đặc trưng, tăng giảm V_0 chuyển động của vệ tinh thay đổi hợp quy luật;
- So sánh kết quả tính toán với kết quả đã công bố của tài liệu [3] về độ chuyển dịch trong 1 ngày của góc lệch phải của điểm lên và đối của cận điểm; Kết quả cho thấy tương đối phù hợp.

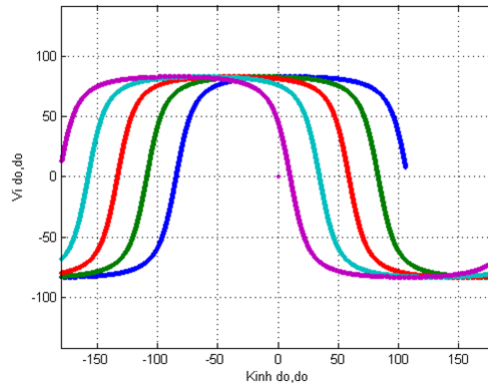
5. MỘT SỐ VÍ DỤ TÍNH TOÁN QUỸ ĐẠO VỆ TINH

Sau khi khởi động chương trình sẽ xuất hiện bảng điều khiển (hình 3). Bảng điều khiển này cho phép nhập các số liệu ban đầu như: độ cao, góc lệch phải ban đầu của kinh tuyến gốc, góc lệch thiên đỉnh ban đầu, kinh độ ban đầu của vệ tinh so với Trái Đất, phương của véc tơ vận tốc ban đầu, phương của lực đẩy động cơ, thời gian khảo sát, bước thời gian. Khi chạy chương trình sẽ xuất hiện cửa sổ mô phỏng vệ tinh chuyển động xung quanh Trái Đất như hình 4. Sau khi kết thúc chương trình phần mềm sẽ cho các file dữ liệu về các thông số quỹ đạo và đồ thị vết của vệ tinh trên Trái Đất (hình 5).

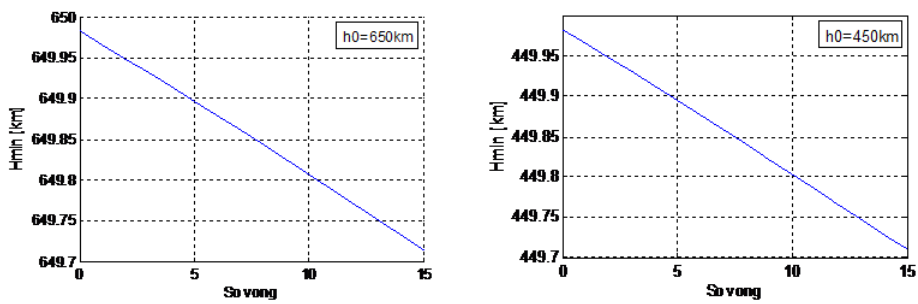


Hình 3. Bảng điều khiển của chương trình

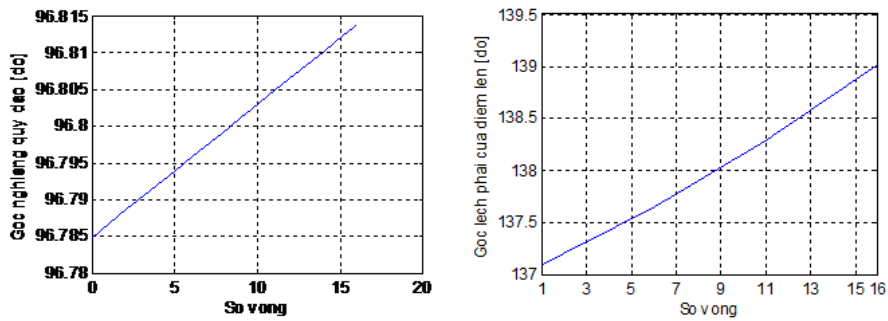
Hình 4. Hình ảnh 3D của quỹ đạo vệ tinh



Hình 5. Vết của vệ tinh trên Trái Đất

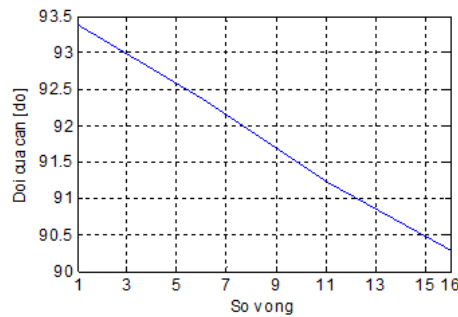


Hình 6. Sự thay đổi độ cao của vệ tinh sau 10 vòng quanh Trái Đất



a)

b)

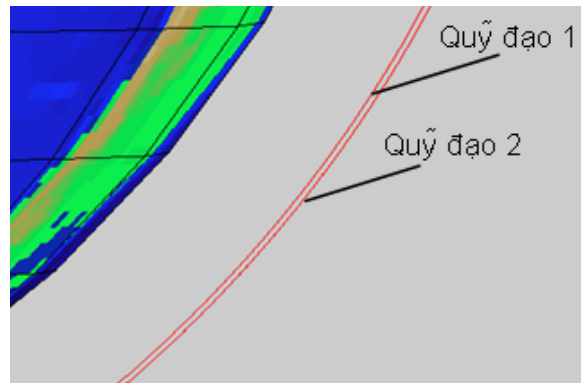


c)

Hình 7. Sự thay đổi góc nghiêng quỹ đạo (a), góc lệch phải của điểm lên (b) và đôi của cận điểm (c) theo số vòng quay của vệ tinh.

Trên hình 6 trình bày kết quả tính sự thay đổi độ cao sau từng vòng vệ tinh quay quanh Trái Đất với các số liệu ban đầu là $h_0 = 650km$, khối lượng ban đầu của vệ tinh $m_0 = 500kg$, góc lệch phải ban đầu của kinh tuyến gốc $\alpha_0 = 30^0$, góc lệch thiên đỉnh ban đầu $\delta_0 = 8^0$, kinh độ ban đầu $\Phi = 0^0$, vận tốc ban đầu $V_0 = \sqrt{\left(\frac{GM}{R_0+h_0}\right)} = \sqrt{\left(\frac{398600,4405}{6378,14+650}\right)} = 7,53 km/s$, tương ứng với quỹ đạo tròn ở độ cao h_0 nói trên (nếu giả thiết Trái Đất là hình cầu), vectơ V_0 với góc chúc ngóc là 0^0 và phương vị so với hướng Bắc địa phương là $-6,85^0$. Hệ số lực cản $C_x = 1$, diện tích đặc trưng của vệ tinh $S = 1m^2$. Ta thấy, trong trường hợp này độ cao bay của vệ tinh giảm dần với nhịp độ khoảng 16 m/vòng. Cũng với các số liệu ban đầu nói trên nhưng với độ cao ban đầu $h_0 = 450km$, vận tốc ban đầu $v_0 = 7,64km/s$, thì độ cao giảm nhanh hơn (khoảng 20 m/vòng). Với chu kỳ $T \approx 100$ phút thì sau 100 ngày độ cao của quỹ đạo bị giảm mất khoảng 27km. Rõ ràng là do lực cản khí quyển có ảnh hưởng đáng kể đến quỹ đạo của vệ tinh trên quỹ đạo thấp.

Trên hình 8 trình bày kết quả tính sự thay đổi quỹ đạo của vệ tinh khi có động cơ làm việc. Lực đẩy động cơ $P = 40N$, phương của véc tơ lực đẩy trùng với phương vận tốc của vệ tinh, khối lượng ban đầu của vệ tinh $m_0 = 500kg$, tốc độ tiêu hao nhiên liệu $\dot{m} = 0,02kg/s$, thời gian động cơ làm việc $\Delta t = 100s$. Gia số vận tốc toàn phần $\Delta v = 8m/s \cong P.\Delta t/m$. Ta thấy trong trường hợp này, do vận tốc lớn hơn (so với vận tốc tương ứng với quỹ đạo tròn ở độ cao ban đầu $h_0 = 650km$ - quỹ đạo 1) vệ tinh chuyển sang quỹ đạo elip (quỹ đạo 2) với viễn điểm ở xa mặt đất tới 670km.



Hình 8. Sự thay đổi quỹ đạo của vệ tinh khi động cơ làm việc

6. KẾT LUẬN

Các tác giả đã xây dựng thuật toán và phần mềm tính toán quỹ đạo vệ tinh quay quanh Trái Đất bằng cách giải bằng phương pháp số phương trình động lực học chuyển động của vệ tinh có tính đến sự không cầu của Trái Đất, lực cản ở tầng ngoại quyển và lực đẩy của động cơ để thay đổi quỹ đạo vệ tinh.

Phần mềm có thể sử dụng để tính toán quỹ đạo vệ tinh trong quá trình thiết kế vệ tinh, lựa chọn các quỹ đạo khác nhau, hoặc để dự báo vị trí hiện thời của vệ tinh cần cho các trạm mặt đất điều khiển vệ tinh. Phần mềm này cũng là công cụ hữu ích trợ giúp nghiên cứu và giảng dạy về công nghệ vệ tinh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Mạnh Tuấn, Nguyễn Đức Cương, *Công nghệ vệ tinh*, NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội, 2007.
- [2]. Oliver Montenbruck , Eberhard Gill, *Satellite Orbits*, Springer, 2005.
- [3]. James R. Wertz & Wiley J. Larson, *Space Mission Analysis and Design*, 3rd Ed., Springer, N.Y., 2007.

Ngày nhận bài 25 - 10 - 2010