

Đánh giá ảnh hưởng rung lắc đến sai số thuật toán xác định tư thế vật mang bằng phương pháp mô phỏng

Hoàng Mạnh Tường^{1*}, Nguyễn Việt Hoài Nam¹, Lê Tuấn Anh², Hoàng Văn Long³

¹Khoa Kỹ thuật Điều khiển, Học viện Kỹ thuật quân sự;

²Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;

³Viện Kỹ thuật Phòng không – Không quân, Quân chủng Phòng không – Không quân.

*Email liên hệ: manhtuongbm@yahoo.com.

Nhận bài ngày 31/8/2021; Hoàn thiện ngày 01/10/2021; Chấp nhận đăng ngày 12/12/2021.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.76.2021.144-150>

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu phương pháp đánh giá ảnh hưởng rung lắc đến sai số thuật toán xác định tư thế vật mang. Mô tả các khối chức năng trong mô hình mô phỏng đánh giá sai số thuật toán đưa ra. Trong đó, tín hiệu chuyển động các góc hướng, góc gập và góc quay quanh trục dọc được chia thành chuyển động xác định và chuyển động ngẫu nhiên. Tín hiệu chuyển động ngẫu nhiên được khởi tạo nhờ sử dụng bộ lọc tạo hình. Để xác định các góc tư thế, vật mang khối định hướng được sử dụng. Trong khối này, phương trình vi phân được giải nhờ sử dụng phương pháp tích phân ẩn. Để đánh giá sai số xác định góc tư thế vật mang, khối xác định sai số thực hiện so sánh quaternion nhận được từ khối định hướng và quaternion đặc trưng cho góc Euler khởi tạo ban đầu. Để tiến hành mô phỏng, khảo sát, tàu biển được lấy làm vật mang với các đặc trưng thống kê được xác định trước. Để thực hiện mô phỏng đánh giá ảnh hưởng rung lắc đến độ chính xác xác định tư thế, phần mềm Matlab được sử dụng. Kết quả mô phỏng cho ta thấy khi dải phổ rung lắc rộng sai số xác định tư thế vật mang tăng lên đáng kể.

Từ khóa: Góc hướng; Tư thế góc; Dẫn đường quán tính; Phương trình động học; Rung lắc ngẫu nhiên; Đặc tính biên độ-tần số; GINS - Hệ thống dẫn đường quán tính có đề.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bài toán xác định góc hướng của vật mang là một trong những bài toán quan trọng trong các hệ thống ổn định, dẫn đường. Thiết bị xác định góc có thể được sử dụng trong việc điều khiển, ổn định tên lửa, vệ tinh, máy bay và một số loại súng pháo,... Độ chính xác xác định góc tư thế của các loại vật mang này sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng các hệ thống này.

Độ chính xác đánh giá góc tư thế vật mang không chỉ phụ thuộc vào chất lượng các thiết bị con quay mà còn phụ thuộc vào thuật toán và đặc điểm chuyển động của từng đối tượng. Với cùng đặc điểm chuyển động vật mang khi sử dụng các thuật toán tính toán sẽ cho ta sai số xác định tư thế góc khác nhau. Ngoài ra, với cùng thuật toán đưa ra với các đặc điểm chuyển động khác nhau, độ chính xác xác định các góc tư thế nhận được cũng khác nhau. Chuyển động rung lắc vật mang sinh ra vận tốc góc đầu vào các thiết bị con quay đo tốc độ góc của khối định hướng, nên đặc điểm của nó cũng sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác của khối này. Do đó, việc đánh giá được ảnh hưởng rung lắc với thuật toán giúp ta có thể đưa ra phương án sử dụng cảm biến, các giải pháp chống rung cho phù hợp để đảm bảo yêu cầu về độ chính xác. Chính vì vậy, việc kiểm tra, đánh giá độ chính xác thuật toán xác định tư thế vật mang trong điều kiện rung lắc có tính cấp thiết cao trong kỹ thuật [5, 6].

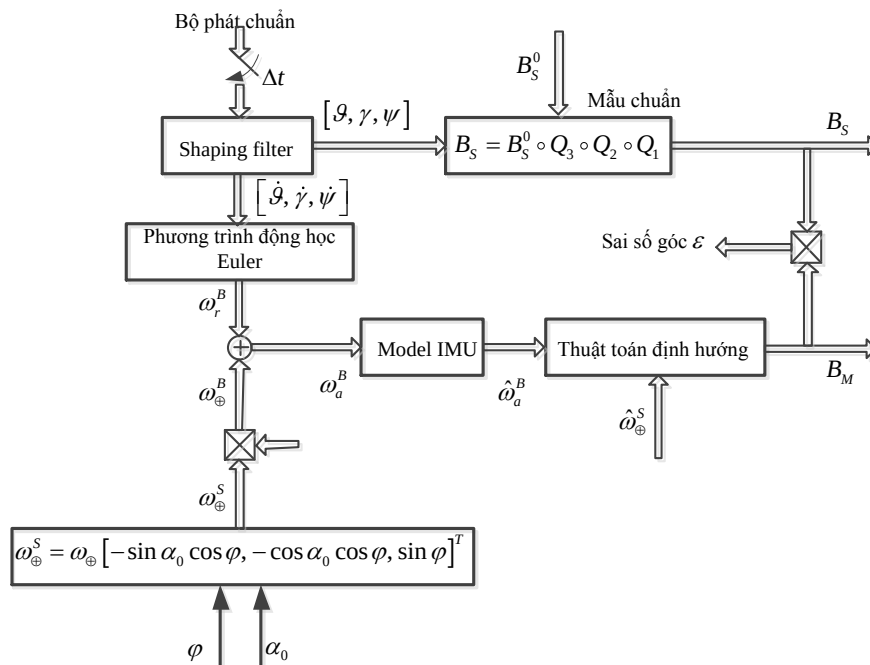
Thông thường, việc kiểm tra độ chính xác thiết bị này thường được thực hiện trên các giá kiểm tra chuyên dụng đắt tiền. Sử dụng các giá chuyên dụng có ưu điểm là ngoài khả năng đánh giá được độ chính xác thuật toán nó còn cho phép ta đánh giá được độ tin cậy hoạt động của thiết bị phân cứng. Tuy nhiên, việc sử dụng phương án này có thể làm tăng chi phí, đặc biệt là ở giai đoạn thử

thực nghiệm ban đầu thuật toán đưa ra. Ngoài ra, ở nước ta do chưa làm chủ được công nghệ chế tạo các giá thử chuyên dụng này nên việc xây dựng các chương trình điều khiển đúng như điều kiện chuyển động thực của vật mang còn gặp nhiều khó khăn.

Trong bài báo đưa ra phương án kiểm tra độ chính xác thuật toán xác định tư thế vật mang trong điều kiện rung lắc nhờ phương pháp mô phỏng. Việc sử dụng phương án đưa ra có thể giúp nhà nghiên cứu, các chuyên gia thiết kế chế tạo trong lĩnh vực này thực hiện đánh giá thuật toán xác định tư thế vật mang một cách dễ dàng, chi phí thấp.

2. PHƯƠNG ÁN ĐÁNH GIÁ SAI SỐ THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH TƯ THẾ GÓC VẬT MANG

Thông thường để kiểm tra, đánh giá thuật toán xác định tư thế vật mang ta sử dụng giá thử chuyên dụng. Giá thử này sẽ tạo giả đầu vào là các góc tư thế vật mang theo chương trình gần với các điều kiện bay của thiết bị bay với độ chính xác cao. Bộ xác định tư thế góc gồm ba con quay đo tốc độ góc sẽ được gắn chặt với giá quay ba bậc tự do. Tín hiệu đầu ra của ba con quay đo tốc độ góc sẽ được đưa vào xử lý ở máy tính số và trên đó thực hiện thuật toán xác định tư thế góc. Để đánh giá độ chính xác thuật toán đưa ra tín hiệu về tư thế góc được đánh giá đem so sánh với các góc hướng tạo ra trên giá thử chuyên dụng. Tuy nhiên, việc sử dụng phương án này sẽ làm tăng chi phí và yêu cầu phát triển phần mềm điều khiển để tạo giả chuyển động góc là bài toán phức tạp. Để vượt qua hạn chế này ta sử dụng phương án đánh giá thuật toán xác định tư thế vật mang bằng phương pháp mô phỏng.



Hình 1. Mô hình mô phỏng đánh giá độ chính xác thuật toán xác định tư thế góc vật mang.

Thuật toán đánh giá tư thế góc được thực hiện trên máy tính trên khoang bằng cách tính toán ra các góc định hướng vật mang khi có đầu vào là các tín hiệu nhận được từ khối IMU. Mô hình mô phỏng phục vụ đánh giá độ chính xác thuật toán định hướng được thể hiện trên sơ đồ hình 1.

Trên sơ đồ này, tín hiệu từ bộ phát chuẩn được đưa vào các bộ lọc tạo hình (FF) dùng để mô phỏng chuyển động tương đối của vật mang là ba góc Ole ψ , Θ , γ . Các tín hiệu góc này có thể viết dưới dạng tổng của thành phần chuyển động xác định và thành phần do chuyển động rung lắc ngẫu nhiên. Thành phần do chuyển động xác định sinh ra là chuyển động theo quy luật phụ thuộc thời gian xác định, còn thành phần do chuyển động ngẫu nhiên của vật mang sinh ra có đặc tính phổ tần số được xác định trước nhờ thực nghiệm. Khối tạo vận tốc góc chuyển động Trái đất ($\omega_{\oplus}^S$) đưa ra véc tơ vận tốc góc của Trái đất. Mô hình bộ đo véc tơ vận tốc góc (model IMU) dùng để xác định véc tơ vận tốc góc tuyệt đối của vật mang. Khối mẫu chuẩn là phần tử biến đổi các góc định hướng được khởi tạo thành các quaternion (B_s) đặc trưng cho hướng thực của vật mang. Đầu vào khối thuật toán định hướng là véc tơ vận tốc góc tuyệt đối đo được nhờ con quay và véc tơ vận tốc góc của Trái đất. Hướng vật mang được xác định thông qua việc đánh giá quaternion B_M . Kết quả của việc xác định quaternion B_M đặc trưng cho góc hướng vật mang được dùng để so sánh với đầu ra từ khối tạo mẫu chuẩn B_s để xác định sai số ε .

Mô hình đo khối đo vector vận tốc góc (Model IMU) được sử dụng tương ứng với sơ đồ khối ở công trình [2]. Khi thực hiện khảo sát ảnh hưởng của chuyển động rung lắc đến độ chính xác thuật toán ta không đưa sai số của thiết bị đo vào trong mô hình đo.

Để xác định các tư thế góc vật mang khối thuật toán định hướng sẽ thực hiện giải phương trình mô tả chuyển động của vật mang viết dưới dạng quaternion sau:

$$\begin{aligned} 2\dot{B}_S &= B_S \circ \omega_r^B & 2\dot{B}_I &= B_I \circ \omega_{aB}^B \\ \omega_r^B &= \omega_a^B - (\tilde{B}_S) \circ \omega_{aS}^S \circ B_S & 2\dot{S}_I &= S_I \circ \omega_{aS}^S \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó: ω_a^B - Vận tốc chuyển động tuyệt đối; ω_r^B - Vận tốc chuyển động tương đối; B_S - Quaternion đặc trưng cho chuyển động tương đối; B_I - Quaternion đặc trưng cho chuyển động trong không gian tuyệt đối; S_I - Quaternion đặc trưng cho vị trí hệ thống dẫn đường quán tính; $\omega_{aS}^S = \omega_{\oplus}^S$ - Vận tốc góc tuyệt đối của trái đất trong hệ tọa độ dẫn đường.

Thuật toán giải phương trình (1) có thể được viết dưới dạng sau [3, 4]:

$$\text{Đặt: } \left. \begin{aligned} B_I(t) &= B_I(0) \circ N_B(t) \\ S_I(t) &= S_I(0) \circ N_S(t) \end{aligned} \right\}$$

Với, $N_B(t)$ và $N_S(t)$ là các toán tử quaternion thỏa mãn phương trình, khi đó:

$$\left. \begin{aligned} \dot{N}_B &= \frac{1}{2} N_B \circ \omega_a^B \\ \dot{N}_S &= \frac{1}{2} N_S \circ \omega_a^S \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Với, $N_B(0)=1$, $N_S(0)=1$, ở đây, 1 là quaternion đơn vị.

Khi rời rạc phương trình (2), ta nhận được:

$$\left. \begin{aligned} B_I|_m &= B_I|_{m-1} \circ N_B|_m = B_I|_0 \circ N_B|_1 \circ N_B|_2 \circ \dots \circ N_B|_m \\ S_I|_m &= S_I|_{m-1} \circ N_S|_m = S_I|_0 \circ N_S|_1 \circ N_S|_2 \circ \dots \circ N_S|_m \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Với, $N_B|_m, N_S|_m$ - Quaternion các nghiệm của phương trình (2), mà ta có thể xem nó là độ dịch

tương ứng của các quaternion $S_I|_{m-1}, B_I|_{m-1}$ và chúng xác định vị trí hiện thời của hệ tọa độ dẫn đường và vật mang trong không gian tuyệt đối. Quaternion vị trí tương đối B_S theo thời gian hiện tại viết dưới dạng truy hồi có dạng:

$$B_S|_0 = \tilde{S}_I|_0 \circ B_I|_0, B_S|_1 = \tilde{S}_I|_1 \circ B_S|_0 \circ N_B|_1, \dots, B_S|_m = \tilde{S}_I|_m \circ B_S|_{m-1} \circ N_B|_m \quad (4)$$

Như vậy, vị trí tương đối hiện tại của vật mang – quaternion $B_S|_m, (m=1,2,3,\dots)$, được tính khi giá trị ban đầu đã biết – quaternion $B_S|_{m-1}$ và tính được lượng thay đổi các quaternion $N_B|_m, N_S|_m$.

Quá trình tích phân ta sử dụng phương pháp tích phân ẩn. Khi xấp xỉ theo đoạn cho vận tốc góc trên mỗi khoảng rời rạc ta có

$$N_i = N_{i-1} + \frac{1}{2} \int_{t_{i-1}}^{t_i} N(\tau) \circ \omega_i^c(\tau) d\tau \cong \tau + \frac{4}{4} (1 + N_i) \circ \omega_i^c$$

Suy ra

$$\hat{N}_i = \left(1 + \frac{4}{4} \omega_i^c\right) \circ \left(1 - \frac{4}{4} \omega_i^c\right)^{-1}, \hat{N}_i = \left(1 + \frac{\nabla \theta_i}{4}\right) \circ \left(1 - \frac{\nabla \theta_i}{4}\right)^{-1} \quad (5)$$

$\nabla \theta_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \omega_i^c(\tau) d\tau$ là vector quay biểu kiến (tín hiệu đầu ra của thiết bị đo vận tốc góc sau mỗi khoảng rời rạc).

Tích phân phương trình chuyển động kéo theo được thực hiện với vận tốc biến đổi chậm ω_{as}^S trong mỗi khoảng rời rạc có thể được thực hiện bằng phương pháp giải tích hoặc phương pháp số.

Khi vận tốc chuyển động kéo theo gần như không đổi việc tích phân được tiến hành theo phương pháp giải tích. Khi đó:

$$S_I|_m = S_I|_{m-1} \circ \left\langle \cos \frac{\nabla \chi^S}{2}, \frac{\nabla \chi_1^S}{\nabla \chi^S} \sin \frac{\nabla \chi^S}{2}, \frac{\nabla \chi_2^S}{\nabla \chi^S} \sin \frac{\nabla \chi^S}{2}, \frac{\nabla \chi_3^S}{\nabla \chi^S} \sin \frac{\nabla \chi^S}{2} \right\rangle,$$

$$\nabla \chi^S = \left| \omega_{as}^S \right| (t_m - t_{m-1}); \quad \frac{\nabla \chi^S}{\nabla \chi^S} \Big|_m = \frac{\omega_{as}^S}{|\omega_{as}^S|} \Big|_m$$

$$N_S|_m = \left\langle \cos \frac{\nabla \chi}{2}, \frac{\nabla \chi_1}{\nabla \chi^S} \sin \frac{\nabla \chi}{2}, \frac{\nabla \chi_2}{\nabla \chi^S} \sin \frac{\nabla \chi}{2}, \frac{\nabla \chi_3}{\nabla \chi^S} \sin \frac{\nabla \chi}{2} \right\rangle$$

3. MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG RUNG LẮC ĐẾN SAI SỐ XÁC ĐỊNH GÓC TƯ THỂ VẬT MANG

Tiếp theo ta sẽ thực hiện mô phỏng đánh giá ảnh hưởng rung lắc đến sai số định phương khi lấy tàu biển được lấy làm vật mang. Để khởi tạo tín hiệu chuyển động góc của tàu biển ta sử dụng các dữ liệu thống kê thu được trong thực nghiệm trước đó. Với tàu biển, hàm tương quan và phổ chuyển động rung lắc của nó có thể viết dưới dạng [1, 2, 5]:

$$S(\omega) = \frac{4\sigma^2 \xi \omega_f^3}{(\omega_f^2 - \omega^2)^2 + 4\xi^2 \omega^4} = \frac{4\sigma^2 \alpha \omega_f^2}{(\omega_f^2 - \omega^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2} =$$

$$= \frac{2\sigma \omega_f \sqrt{\alpha}}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \omega_f^2} \cdot \frac{2\sigma \omega_f \sqrt{\alpha}}{(j\omega)^2 - 2\alpha j\omega + \omega_f^2}$$

$$R(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|} (\cos(\beta\tau) + \frac{\alpha}{\beta} \sin(\beta|\tau|))$$

Với: σ^2 - Phương sai góc lắc; $\alpha = \xi \omega_f$ - Hệ số đặc trưng độ không điều hòa chuyển động lắc tàu,

β - Đặc trưng cho tần số lắc không điều hòa và $\beta = \frac{\alpha \sqrt{1 - \xi^2}}{\xi}$.

Từ công thức (6) cho ta thấy, để khởi tạo tín hiệu với phổ $S(\omega)$ có thực hiện bằng cách cho tín hiệu tạp trắng qua bộ lọc tạo hình bậc hai. Phương trình của bộ lọc tạo hình bậc hai dưới dạng phương trình trạng thái có dạng:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases}$$

Với

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_f^2 & -2\alpha \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_f^2 \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Để khởi tạo tín hiệu ta viết phương trình (8) ở dạng rời rạc như sau:

$$\begin{cases} x_k = A_{\Delta} x_{k-1} + B_{\Delta} u(t) \\ y_k = C x_k \end{cases}$$

Ở đây, tín hiệu $u(t)$ là tín hiệu nhảy bậc theo giá trị ngẫu nhiên $u(t) \rightarrow u_{k-1} = \text{const}, k = 1, 2, 3, \dots$

$$A_{\Delta} = e^{A\Delta}, \Delta = (t_k - t_{k-1}), B_{\Delta} = (e^{A\Delta} - I)A^{-1}B, A^{-1} = \begin{bmatrix} -\frac{2\alpha}{\omega_f^2} & -\frac{1}{\omega_f^2} \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, A^{-1}B = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

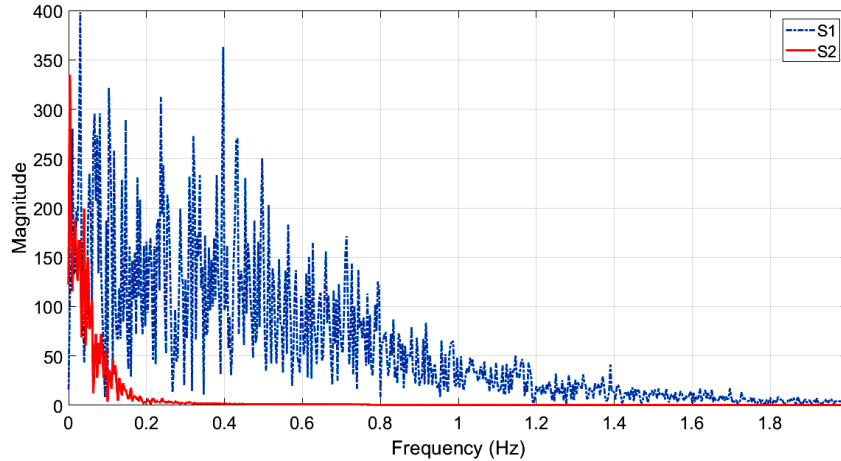
Thực hiện mô phỏng các góc tư thế của vật mang thay đổi khi tàu đổi hướng theo quy luật sau:

$$\psi_{xd}(t) = 0,07 \sin(0,01t); \vartheta_{xd}(t) = 0,1 \sin(0,02t); \gamma_{xd}(t) = 0,12 \sin(0,05t)$$

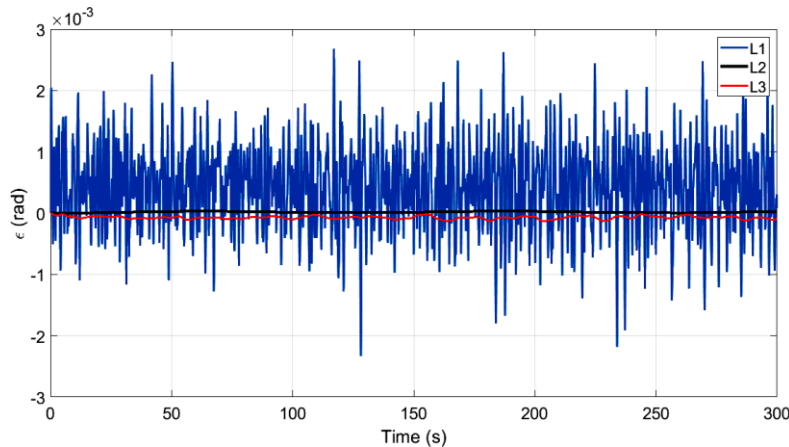
Khởi tạo các tín hiệu rung lắc ngẫu nhiên của tàu ta lấy các tham số của bộ lọc tạo hình với các tham số như nhau đối với các góc hướng, góc tà và góc lắc quanh trục dọc. Trên hình 2 thể hiện phổ rung lắc với các tham số của bộ lọc tạo hình khác nhau. Trong đó, đường S_1 màu xanh thể hiện phổ tín hiệu rung lắc tàu có dải rộng hơn nhiều so với phổ ở đường S_2 . Ta sẽ nghiên cứu, khảo sát ảnh hưởng của dải phổ rung lắc đến độ chính xác thuật toán định phương.

Kết quả mô phỏng đánh giá độ chính xác thuật toán định phương khi có tác động rung lắc với các phổ tần số S_1 và S_2 được thể hiện trên hình 3. Ở đây, đường L_1 thể hiện sai số thuật toán định phương

khi dải phổ rung lắc rộng (S_1) và L_2 thể hiện sai số khi dải phổ hẹp (S_2). Với kết quả này, ta thấy rõ khi dải phổ rung lắc tàu biển rộng sẽ làm cho sai số thuật toán định hướng tăng mạnh.



Hình 2. Phổ tín hiệu chuyển động rung lắc với thời gian rời rạc $\Delta t = 0,01s$;
 S_1 – Phổ tín hiệu rung lắc với hệ số bộ lọc tạo hình $\sigma_\psi^2 = 1$; $\beta_\psi = 2$; $\omega_{f\psi} = 3$;
 S_2 – Phổ tín hiệu rung lắc với hệ số bộ lọc tạo hình $\sigma_\psi^2 = 1$; $\beta_\psi = 0,2$; $\omega_{f\psi} = 0,3$.



Hình 3. Sai số thuật toán định phương với thời gian rời rạc $\Delta t = 0,01s$;
 L_1 – Với hệ số bộ lọc tạo hình $\sigma_\psi^2 = 1$; $\beta_\psi = 2$; $\omega_{f\psi} = 3$; L_2 – Khi vật mang không có chuyển động rung lắc; L_3 – Với hệ số bộ lọc tạo hình $\sigma_\psi^2 = 1$; $\beta_\psi = 0,2$; $\omega_{f\psi} = 0,3$.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo đưa ra sơ đồ mô phỏng xác định sai số thuật toán định phương. Mô tả và phân tích các đặc điểm của các khối chức năng trên sơ đồ mô phỏng. Trong đó, khối khởi tạo tín hiệu chuyển động ngẫu nhiên của vật mang được khởi tạo nhờ các bộ lọc tạo hình. Để thay đổi đặc tính phổ rung lắc khởi tạo ta thay đổi các tham số bộ lọc tạo hình. Thực hiện mô phỏng đánh giá độ chính xác thuật

toán định phương với phổ chuyển động rung lắc của tàu biển với các tham số thống kê cho trước. Kết quả mô phỏng cho ta thấy, với dải phổ rung lắc tàu tăng sẽ làm giảm mạnh độ chính xác thuật toán định phương.

Việc khảo sát độ chính xác thuật toán định phương đưa ra cho phép ta có thể khảo sát ảnh hưởng rung lắc với các vật mang khác nhau. Kết quả đánh giá này giúp cho nhà thiết kế hệ thống dẫn đường đưa ra các tham số kỹ thuật yêu cầu về tần số xuất thông tin của con quay đo tốc độ góc cũng như thời gian lấy mẫu yêu cầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Бородай И.К. “Краткосрочное прогнозирование процессов качки корабля с учетом ошибок измерений”. Труды Крыловского государственного научного центра. 2017; 2(380): 9–16.
- [2]. Д.В.Антонов, М.И.Слукина. “Современные алгоритмы прогнозирования процессов качки корабля”. Материалы XXII конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» с международным участием / Науч. редактор д.т.н., проф., член-корр. РАН О.А.Степанов / Под общ. ред. академика РАН В.Г.Пешехонова. СПб.: ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», 2020. 355 с.
- [3]. Лобусов .Е.С., Фомичев А.В. “Формирование алгоритмов бесплатформенной инерциальной системы навигации и основных режимов функционирования системы управления малогабаритного космического аппарата. Часть I”. Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – Т.16, № 12. – С.60-65.
- [4]. Лобусов .Е.С., Фомичев А.В. “Алгоритмизация основных режимов функционирования бесплатформенной инерциальной системы навигации и управления движением малогабаритного космического аппарата”. Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – Т.16, № 1. – С.54-59.
- [5]. Степанов О.А. “Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации”. Ч.2. Введение в теорию фильтрации / Изд. 3-е, исправленное и дополненное / СПб.: ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», 2017. – 428 с.
- [6]. Mourad Kedadouch, Sun Yulan, Zhaocheng Liu, Guillaume Charland-Arcand. “Design of a Vibration Isolator for the Inertial Navigation System of an Autopilot Dedicated to the Operation of Light Drones”. 2018 9th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF VIBRATIONAL MOTION OF CARRIER ON THE ERROR OF THE ORIENTATION ALGORITHM BY SIMULATION METHOD

The article studies a method to evaluate the influence of the vibrational motion of carriers on the error of the orientation algorithm. Describe the function scheme of evolutionary algorithm error of the simulation model. In which the signal angular motion of the carrier is divided into deterministic motion and random motion. The random motion signal is generated using a shaping filter. To determine the orientation of the carrier, we use the orientation block. In this block, the differential equation is solved using the method of implicit integration. To evaluate the error of determining the attitude of the carrier in the determination block, compare the quaternions obtained with the quaternion defined by initial Euler angles. Ships are taken as carriers with predefined statistical characteristics to conduct the survey. MATLAB software is used to perform simulations to evaluate the effects of vibrational motion. Simulation results show that when the vibration spectrum is wide, the error of orientational determination increases significantly.

Keywords: Directional angle; Dynamic equation; UAV vibration; Strapdown Inertial Navigation System (SINS); Random vibration.