

XÁC ĐỊNH GÓC LỆCH PHƯƠNG THẲNG ĐỨNG VẬT THỂ HÌNH TRỤ NHỜ SỬ DỤNG KHỐI CẢM BIẾN QUÁN TÍNH

Hoàng Mạnh Tường^{1,*}

¹*Viện Kỹ thuật điều khiển, Trường Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn*

Tóm tắt

Bài báo trình bày phương án xác định góc lệch phương thẳng đứng vật thể hình trụ nhờ sử dụng khối cảm biến quán tính. Quá trình đo được thực hiện bằng cách di chuyển thiết bị đo từ giá tạo mặt phẳng ngang sau đó trượt thiết bị đo trên bề mặt vật thể hình trụ. Dựa vào các mối liên hệ động học xây dựng thuật toán xử lý tín hiệu nhận được từ khối cảm biến để xác định các góc lệch của vật thể hình trụ so với phương thẳng đứng. Thuật toán xác định góc lệch so với phương thẳng đứng của vật thể hình trụ được mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink. Kết quả mô phỏng với mô hình con quay có độ trôi $36^\circ/h$ cho phép xác định góc lệch phương thẳng đứng vật thể hình trụ với sai số nhỏ hơn $0,0046^\circ$.

Từ khóa: Khối cảm biến quán tính; phương thẳng đứng; hình trụ; hiệu chỉnh.

1. Đặt vấn đề

Khi lắp đặt, thiết lập tư thế các ống, trục hình trụ, cần hiệu chỉnh chính xác tư thế trục của chúng theo phương thẳng đứng trong không gian. Với các bài toán này, cần xác định góc lệch các vật thể hình trụ so với phương thẳng đứng. Trước đây, việc xác định phương thẳng đứng vật thể hình trụ dựa vào các con lắc. Với phương án này, con lắc được treo dọc so với vật thể hình trụ. Ở trạng thái cân bằng, các con lắc này xác lập phương thẳng đứng, nhờ đó có thể xác định được góc lệch của vật thể hình trụ so với phương thẳng đứng. Tuy nhiên, phương án đo này cần nhiều thời gian để con lắc về vị trí cân bằng, cần không gian treo con lắc. Ngoài ra, độ chính xác khi sử dụng phương pháp này phụ thuộc vào độ chính xác đo góc lệch của vật thể hình trụ so với dây treo con lắc. Hiện nay, để giải quyết vấn đề đặt ra, các nhà khoa học đã đưa ra phương án xác định độ lệch vật thể hình trụ so với phương thẳng đứng nhờ sử dụng thiết bị laser. Với phương án này, nguồn laser được phát đi và phản xạ qua các gương phản xạ, các gương phản xạ này có tính chất như một con lắc. Dựa vào việc phân tích tín hiệu laser phản xạ từ các gương đưa ra sai lệch góc của rôto hình trụ so với phương thẳng đứng [1-7]. Nhược điểm của phương pháp này gặp phải khi đo đạc trong môi trường ẩm ướt. Hơn nữa, khi sử dụng phần tử đo có tính chất như một con lắc, độ chính xác sẽ bị ảnh hưởng bởi môi trường âm thanh xung quanh.

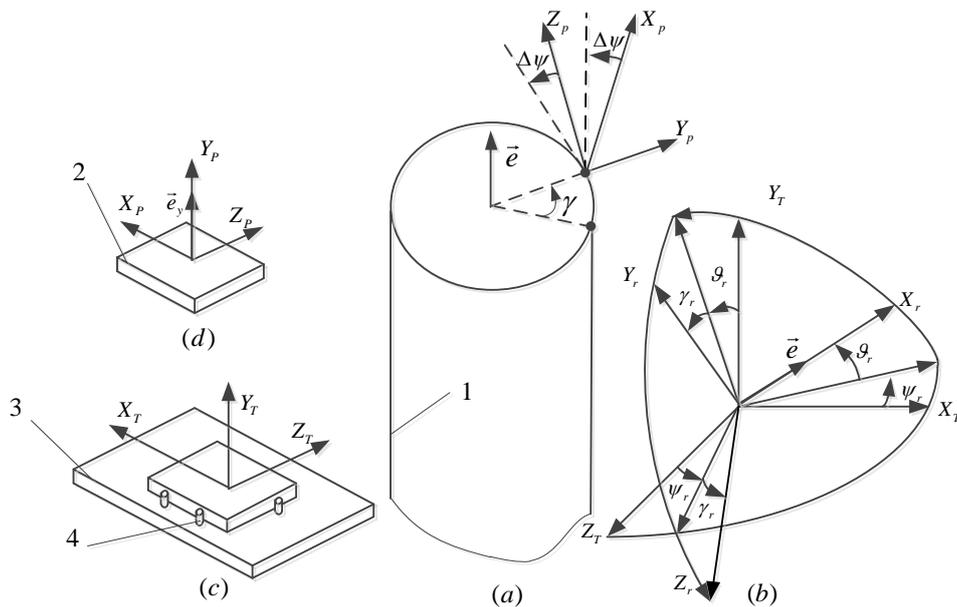
Ngày nay, để xác định được tư thế của một vật trong không gian như tên lửa, máy bay... có thể sử dụng hệ thống dẫn đường quán tính. Hệ thống này sử dụng ba con quay

* Email: manhtuongbm@lqdtu.edu.vn
DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v19.n02.786

và ba gia tốc kể đặt vuông góc với nhau. Tín hiệu từ các cảm biến quán tính nhận được xử lý để xác định tư thế của vật mang. Tùy thuộc vào thuật toán sử dụng mà ta có thể xác định được tư thế các vật mang này so với hệ tọa độ chuẩn khác nhau [8, 9]. Do vậy, dựa vào đặc tính động hình học khi di chuyển thiết bị đo có thể là một phương án cho phép xác định các tham số hình học cũng như tư thế của vật [10]. Trong đó, bài toán xác định góc lệch phương thẳng đứng vật thể hình trụ không phải ngoại lệ. Việc sử dụng cảm biến quán tính với bài toán hiệu chỉnh góc lệch phương thẳng đứng cho phép hiệu chỉnh với độ chính xác cao trong các điều kiện làm việc khác nhau. Dưới đây, bài báo trình bày việc xây dựng phương án xác định góc lệch phương thẳng đứng và khảo sát thuật toán đưa ra.

2. Xác định góc lệch phương thẳng đứng vật thể hình trụ

Tư thế của vật thể hình trụ 1 được đặc trưng bởi một vectơ đơn vị \vec{e} và nó chính là vectơ nằm trên trục X_r của hệ tọa độ $X_r Y_r Z_r$ nhận được bằng cách quay hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ gắn với giá tạo mặt phẳng ngang quanh trục Y_T và Z_T các góc ψ_r, ϑ_r tương ứng như trên Hình 1.



Hình 1. Xác định góc tư thế vật thể hình trụ trong không gian

1 - Vật thể hình trụ; 2 - Thiết bị đo; 3 - Giá tạo mặt phẳng ngang; 4 - Chốt định hướng.

Hệ tọa độ $X_p Y_p Z_p$ là hệ tọa độ thiết bị đo 2 có các trục trùng với trục nhạy của các cảm biến con quay đo tốc độ góc, trục nhạy gia tốc kế của khối cảm biến quán tính.

Trong đó, các trục X_p, Z_p gắn với mặt phẳng nhẵn của thiết bị đo. Ở thời điểm khi tiến hành đo thì thiết bị đo được đặt lên giá tạo mặt phẳng ngang 3 sao cho hệ tọa độ liên kết với thiết bị đo $X_p Y_p Z_p$ và hệ tọa độ $X_T Y_T Z_T$ trùng nhau. Dựa vào việc xử lý tín hiệu đầu ra từ các con quay đo tốc độ góc, xác định các góc tư thế các trục của hệ tọa độ $X_p Y_p Z_p$ so với hệ tọa độ $X_T Y_T Z_T$ [8, 9]. Để quá trình thực hiện được thuận tiện trên giá tạo mặt phẳng ngang, sử dụng các chốt định hướng 4. Trong quá trình đo, thiết bị đo được trượt trên mặt hình trụ sao cho trục X_p của nó có hướng dọc theo hướng của vật thể hình trụ. Tư thế của thiết bị đo so với vật thể hình trụ được xác định bởi hai góc γ và $\Delta\psi$ như thể hiện trên Hình 1. Do vậy, trong quá trình đo, nếu xác định được thời điểm mà ở đó $\Delta\psi = 0$ thì lúc đó vectơ chỉ phương của trục X_p của thiết bị đo chính là vectơ \mathbf{e} cần tìm.

Trong quá trình trượt thiết bị đo trên mặt vật thể hình trụ, ta có:

$$\begin{aligned}\omega_{X_p}^r &= \dot{\gamma} \cos \Delta\psi \\ \omega_{Y_p}^r &= \Delta\dot{\psi} \\ \omega_{Z_p}^r &= \dot{\gamma} \sin \Delta\psi\end{aligned}\quad (1)$$

trong đó: $\omega_{X_p}^r, \omega_{Y_p}^r, \omega_{Z_p}^r$ - hình chiếu vector tốc độ góc tương đối của thiết bị đo lên các trục X_p, Y_p, Z_p tương ứng.

Các hình chiếu vector tốc độ góc tương đối này cũng có thể được xác định dựa vào biểu thức:

$$\begin{aligned}\omega_{X_p}^r &= \omega_{X_p}^a - U_{X_p} \\ \omega_{Y_p}^r &= \omega_{Y_p}^a - U_{Y_p} \\ \omega_{Z_p}^r &= \omega_{Z_p}^a - U_{Z_p}\end{aligned}\quad (2)$$

trong đó: $\omega_{X_p}^a, \omega_{Y_p}^a, \omega_{Z_p}^a, U_{X_p}, U_{Y_p}, U_{Z_p}$ - hình chiếu vector tốc độ góc quay tuyệt đối của thiết bị đo, vector tốc độ góc quay của trái đất lên các trục của hệ tọa độ gắn với thiết bị đo $X_p Y_p Z_p$ tương ứng.

Từ biểu thức (1) và (2), ta đánh giá được góc $\Delta\psi$ dựa vào công thức (3):

$$\Delta\psi = \arctan\left(\frac{\omega_{Z_p}^a - U_{Z_p}}{\omega_{X_p}^a - U_{X_p}}\right)\quad (3)$$

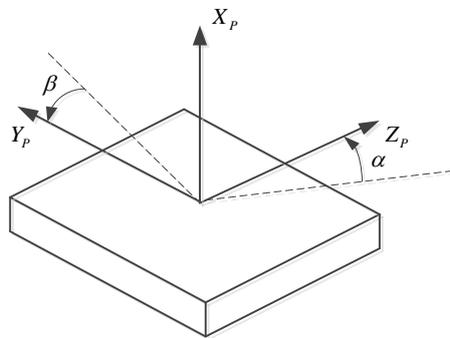
Độ lớn cực đại của hình chiếu vector vận tốc góc trái đất luôn nhỏ hơn hoặc bằng giá trị tốc độ quay vận tốc trái đất ($U = 7,2722 \times 10^{-5}$) là đại lượng rất nhỏ. Khi ta trượt thiết bị đo trên mặt vật thể hình trụ, ta thực hiện chuyển động thiết bị đo sao cho $\dot{\gamma} \gg U$ và góc $\Delta\psi < 10^\circ$. Do đó, $\omega_{X_p}^a \gg U_{X_p}$ biểu thức (3) có thể viết xấp xỉ:

$$\Delta\psi \cong \arctan\left(\frac{\omega_{Z_p}^a}{\omega_{X_p}^a}\right) \quad (4)$$

Giới hạn độ chính xác xấp xỉ ở biểu thức (4) có thể tính theo biểu thức:

$$\frac{U_{Z_p}}{\dot{\gamma}} = \frac{U(\sin\varphi \sin\Delta\psi + \cos\varphi \sin\gamma \cos\Delta\psi)}{\dot{\gamma}} \leq \frac{U}{\dot{\gamma}}$$

Các giá trị $\omega_{X_p}^a, \omega_{Z_p}^a$ có thể xác định nhờ các con quay đặt trên các trục X_p, Z_p của thiết bị đo. Dựa vào công thức (4), ta xác định được thời điểm mà giá trị góc $\Delta\psi$ bằng không. Ở thời điểm đó, trục của vector chỉ phương dọc vật thể hình trụ trùng với vector chỉ phương của trục X_p . Ở giai đoạn đo tư thế của hệ tọa độ gắn với thiết bị đo, $X_p Y_p Z_p$ luôn được xác định so với hệ tọa độ gắn với mặt phẳng chuẩn $X_T Y_T Z_T$ nhờ thuật toán định hướng [8, 9]. Do đó, nếu mặt phẳng $X_T Z_T$ được hiệu chỉnh trùng với mặt phẳng ngang thì ta có thể xác định được góc lệch của vector chỉ phương của vật thể hình trụ so với phương thẳng đứng. Mặt phẳng $X_T Z_T$ được hiệu chỉnh theo phương ngang nhờ tín hiệu từ hai gia tốc kế đặt dọc theo trục X_p, Z_p ở thời điểm khi đặt thiết bị đo trên giá tạo mặt phẳng ngang. Tư thế của giá tạo mặt phẳng ngang được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Độ lệch của giá tạo chuẩn so với phương ngang.

Các góc lệch α, β của giá tạo mặt phẳng ngang có thể được xác định bằng các công thức sau:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{a_{z_p}}{g}\right), \beta = \arctan\left(\frac{a_{x_p}}{g}\right) \quad (5)$$

trong đó: a_{x_p}, a_{z_p} - tín hiệu đầu ra gia tốc kế đặt dọc theo trục X_p, Z_p tương ứng của hệ tọa độ gắn với thiết bị đo $X_p Y_p Z_p$.

Sau khi xác định được các góc lệch α, β của giá so với phương ngang, thực hiện hiệu chỉnh sao cho các góc này tiến tới giá trị bằng không.

Sai số hiệu chỉnh tư thế giá tạo phương ngang phụ thuộc vào sai số gia tốc kế. Các sai số này có thể được xác định bằng công thức:

$$\delta\alpha = \frac{\Delta a_{z_p}}{g}, \delta\beta = \frac{\Delta a_{x_p}}{g} \quad (6)$$

trong đó: $\Delta a_{x_p}, \Delta a_{z_p}$ - độ nhạy các gia tốc kế đặt trên các trục X_p, Z_p của thiết bị đo.

3. Mô phỏng khảo sát phương án xác định góc lệch phương thẳng đứng vật thể hình trụ

Giai đoạn hiệu chỉnh giá tạo mặt phẳng ngang được thực hiện bằng việc điều chỉnh các vít sao cho góc lệch α, β của mặt phẳng $X_T Z_T$ so với mặt phẳng ngang tiến tới không. Ở giai đoạn này, sai số phụ thuộc vào độ trôi, độ nhạy gia tốc kế và thuật toán tính toán các góc α, β được thực hiện dựa vào công thức (5). Khi mô phỏng khảo sát thuật toán, ta giả định rằng các trục $X_T Z_T$ nằm trong mặt phẳng ngang.

Quá trình thực hiện đo xác định các góc lệch phương thẳng đứng vật thể hình trụ diễn ra theo ba giai đoạn: Giai đoạn xác định tốc độ góc tuyệt đối hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$, giai đoạn di chuyển thiết bị đo, giai đoạn thực hiện đo.

Ở giai đoạn đầu tiên, thiết bị đo được đặt lên giá tạo mặt phẳng ngang và nhờ các chốt định hướng trục quay của các con quay đo tốc độ góc dọc theo các trục hệ tọa độ $X_p Y_p Z_p$ trùng với trục tương ứng của hệ tọa độ $X_T Y_T Z_T$. Đầu ra của con quay đo tốc độ góc cho phép xác định vectơ tốc độ góc tuyệt đối ω_{\oplus}^T của hệ tọa độ $X_T Y_T Z_T$. Tín hiệu đầu ra của con quay ở giai đoạn này phụ thuộc vào vĩ độ vị trí đặt giá tạo chuẩn φ .

Giai đoạn hai bắt đầu được tính khi thuật toán định hướng được thực hiện. Thuật toán định hướng cho thiết bị đo thực hiện nhờ việc giải hệ phương trình vi phân sau [8, 9]:

$$\begin{aligned} 2\dot{\mathbf{P}}_I &= \mathbf{P}_I \circ \omega_{ap}^P \\ 2\dot{\mathbf{T}}_I &= \mathbf{T}_I \circ \omega_{at}^T \\ \mathbf{P}_T &= \tilde{\mathbf{T}}_I \circ \mathbf{P}_I \end{aligned} \quad (9)$$

với ω_{ap}^P - quaternion vector vận tốc góc chuyển động tuyệt đối của thiết bị đo, \mathbf{P}_T - quaternion đặc trưng cho chuyển động tương đối của thiết bị đo, \mathbf{P}_I - quaternion đặc trưng cho chuyển động trong không gian tuyệt đối của thiết bị đo, \mathbf{T}_I - quaternion đặc trưng cho chuyển động quay hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ trong không gian quán tính, $\omega_{aT}^T = \omega_{\oplus}^T$ - quaternion vector vận tốc góc tuyệt đối của trái đất.

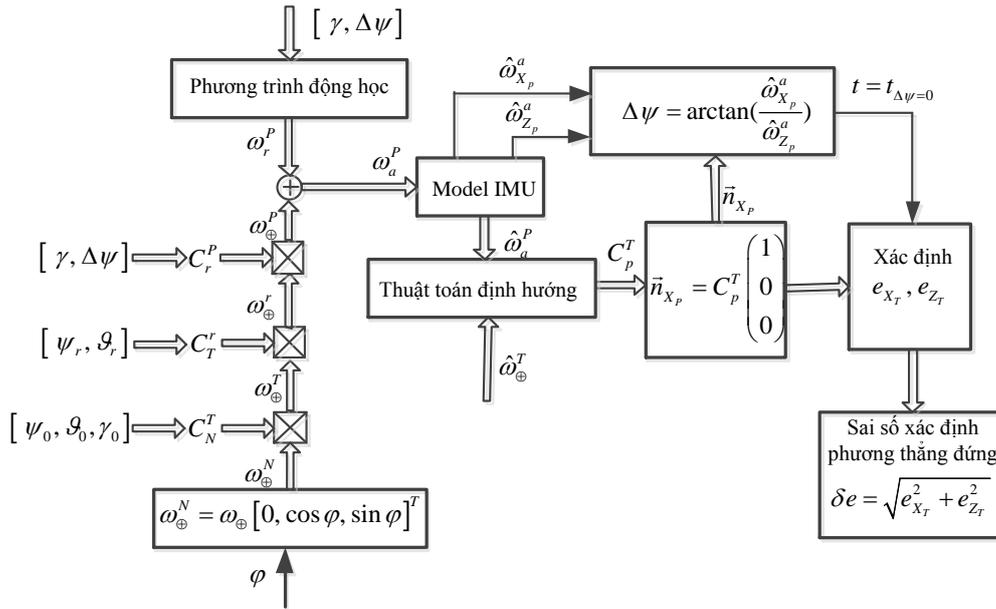
Giai đoạn thực hiện đo bắt đầu khi đặt thiết bị đo lên mặt vật thể hình trụ. Ở giai đoạn này, vị trí góc hệ tọa độ $X_p Y_p Z_p$ gắn với thiết bị đo được xác định bởi hai góc γ và $\Delta\psi$ so với hệ tọa độ vật thể hình trụ $X_r Y_r Z_r$, như trên Hình 1. Tốc độ góc tuyệt đối của thiết bị đo ω_{ap}^P được xác định bằng tổng tốc độ góc tương đối của nó so với vật thể hình trụ và tốc độ góc do chuyển động quay trái đất. Do đó, vận tốc quay tuyệt đối ở thiết bị đo được tính theo biểu thức:

$$\omega_a^P = \begin{pmatrix} \dot{\gamma} \cos \Delta\psi \\ \Delta\dot{\psi} \\ \dot{\gamma} \sin \Delta\psi \end{pmatrix} + \mathbf{C}_N^T \mathbf{C}_T^r \mathbf{C}_r^P \omega_{aT}^T \quad (10)$$

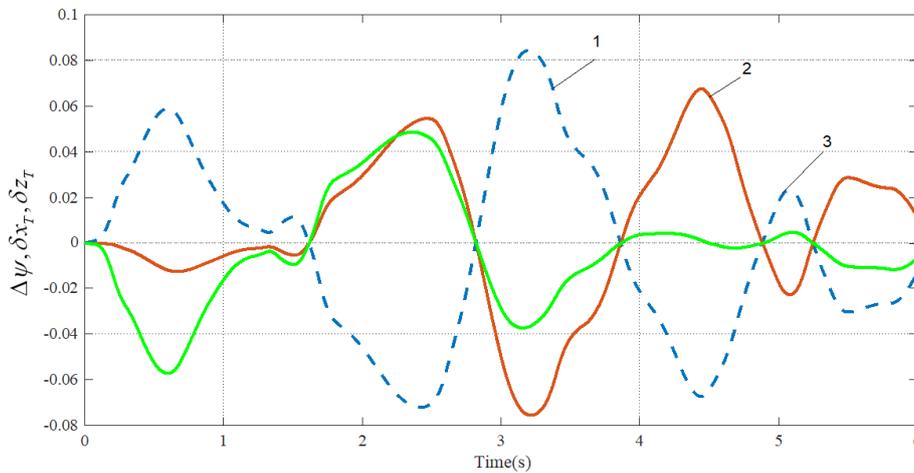
trong đó: \mathbf{C}_N^T - ma trận chuyển từ hệ tọa độ địa lý địa phương sang hệ tọa độ $X_T Y_T Z_T$, \mathbf{C}_T^r - ma trận chuyển từ hệ tọa độ $X_T Y_T Z_T$ sang hệ tọa độ gắn với vật thể hình trụ $X_r Y_r Z_r$, \mathbf{C}_r^P - ma trận chuyển từ hệ tọa độ gắn với vật thể hình trụ sang hệ tọa độ thiết bị đo $X_p Y_p Z_p$.

Trong mô hình mô phỏng khối Model IMU sử dụng là khối đo vector vận tốc con quay với các con quay có độ trôi bằng $36^\circ/h$. Để giải phương trình vi phân (9) trong khối Thuật toán định hướng sử dụng phương pháp Runge-Kutta. Điều kiện mô phỏng: Vị trí thực hiện đo có vĩ độ $\varphi = 60^\circ$, hệ tọa độ cơ sở $X_T Y_T Z_T$ sau khi hiệu chỉnh sẽ trùng với hệ tọa độ địa lý địa phương, các góc lệch vật thể hình trụ $\psi_r = 0^\circ$, $\mathcal{G}_r = 0^\circ$. Sơ đồ mô phỏng thuật toán xác định các góc lệch vật thể hình trụ được thể hiện trên Hình 3.

Trong quá trình di chuyển thiết bị đo trượt trên bề mặt vật thể hình trụ với quy luật thay đổi sau: Góc $\gamma = \frac{\pi}{9}t$; góc $\Delta\psi$ là đại lượng ngẫu nhiên được khởi tạo bằng cách cho tín hiệu tạp trắng qua bộ lọc tạo hình là khâu dao động bậc hai có hằng số thời gian bằng 0,3 và hệ số suy giảm bằng 0,7.



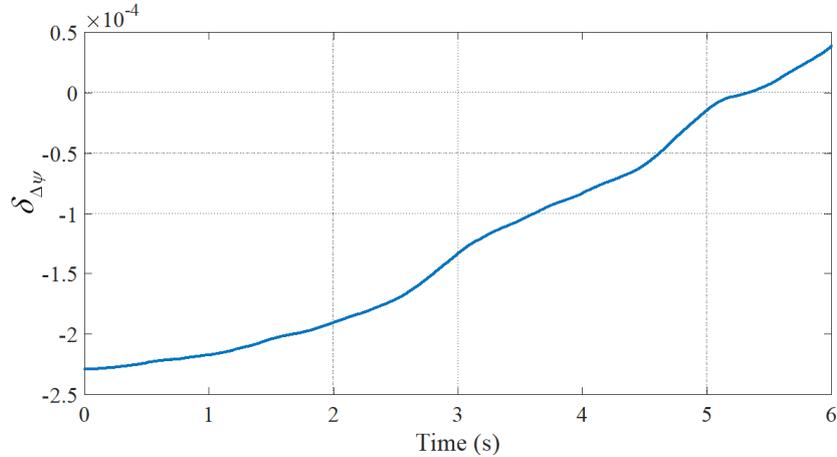
Hình 3. Sơ đồ mô phỏng thuật toán xác định góc lệch so với phương thẳng đứng.



Hình 4. Sự thay đổi hình chiếu vector chỉ phương theo trục X_p lên trục X_T và Z_T
 1 - Sự thay đổi của góc $\Delta\psi$; 2 - Sự thay đổi của δx_T ; 3 - Sự thay đổi của δz_T .

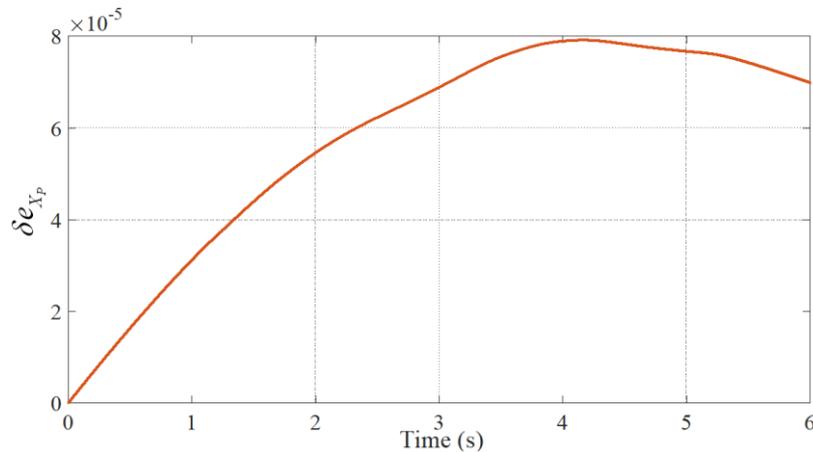
Hình 4 thể hiện sự thay đổi $\delta x_T, \delta z_T$ là hình chiếu vector chỉ phương theo trục X_p lên trục X_T, Z_T của hệ độ gắn với giá tạo mặt phẳng ngang $X_T Y_T Z_T$. Kết quả mô phỏng cho thấy ở thời điểm $\Delta\psi = 0$ thì các giá trị $\delta x_T, \delta z_T$ cũng bằng không. Ở thời điểm đó, vector chỉ phương trục X_p trùng với vector e cần tìm. Sai số xác định vector e phụ thuộc vào độ chính xác xác định góc $\Delta\psi$ và độ chính xác xác định vector chỉ

phương trục X_p trong hệ tọa độ $X_T Y_T Z_T$. Hình 5 thể hiện sự thay đổi của sai số xác định $\Delta\psi$. Dựa vào công thức (4), ta thấy giá trị sai số xác định góc này phụ thuộc vào độ trôi con quay và tốc độ trượt thiết bị đo trên mặt hình trụ γ .



Hình 5. Sai số xác định góc $\Delta\psi$.

Độ chính xác xác định vector \mathbf{e} không chỉ phụ thuộc vào độ chính xác xác định góc $\Delta\psi$ mà còn phụ thuộc vào độ chính xác của việc xác định vector chỉ phương của trục X_p của thiết bị đo. Hình 6 thể hiện sai số xác định tọa độ vector chỉ phương trục X_p thiết bị đo δe_{X_p} .



Hình 6. Sai số xác định tọa độ vector chỉ phương của trục X_p thiết bị đo.

Sai số tọa độ vector chỉ phương thiết bị đo phụ thuộc vào độ chính xác thuật toán định hướng và độ trôi con quay đo tốc độ góc trong khối cảm biến quán tính. Kết quả mô phỏng đánh giá tọa độ hình chiếu vector \mathbf{e} lên các trục X_T và Z_T :

$e_{x_r} = -8 \times 10^{-5}$; $e_{z_r} = 3 \times 10^{-5}$. Sai số xác định góc lệch phương thẳng đứng của vật thể hình trụ $\delta e = \sqrt{e_{x_r}^2 + e_{z_r}^2} \approx 8,5 \times 10^{-5}$ (rad).

Như vậy, trong trường hợp mô phỏng sử dụng mô hình con quay với độ trôi $36^\circ/h$ có thể xác định được độ lệch so với phương thẳng đứng của vật thể hình trụ với độ chính xác vào khoảng 8×10^{-5} rad ($0,0046^\circ$). Độ chính xác này cho phép ứng dụng thiết bị đo trong nhiều bài toán đo đạc, hiệu chỉnh tư thế theo phương thẳng đứng trong kỹ thuật.

4. Kết luận

Bài báo đưa ra phương án xây dựng thiết bị đo góc lệch của vật thể hình trụ so với phương thẳng đứng nhờ sử dụng khối cảm biến quán tính gồm ba con quay đo tốc độ góc và ba gia tốc kế đặt vuông góc với nhau. Khi đo thiết bị đo trượt trên bề mặt vật thể hình trụ và một trục đo của nó hướng theo trục vật thể hình trụ. Nhờ sử dụng thuật toán định hướng cho phép xác định vectơ chỉ phương của trục này so với giá tạo mặt phẳng ngang. Thông tin về tọa độ vectơ chỉ phương trục được chọn này của thiết bị đo kết hợp với tín hiệu từ các con quay đo tốc độ góc cho phép xác định góc lệch so với phương thẳng đứng của vật thể hình trụ.

Tiến hành xây dựng mô hình mô phỏng nhằm đánh giá độ chính xác của phương án đưa ra. Kết quả mô phỏng cho thấy tính hợp lý của phương án đưa ra cho các bài toán hiệu chỉnh tư thế các vật thể hình trụ so với phương thẳng đứng như hiệu chỉnh trục rôto trong nhà máy thủy điện, hiệu chỉnh tư thế các trụ, cột hình trụ ngầm,...

Tài liệu tham khảo

- [1] D. D. Temple and W. Duncan, *Alignment of vertical shaft hydrounits*, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1988, 33p.
- [2] Fluke Corporation, *Best Practices for Roll Alignment*. Available: <https://www.pruftechnik.com/en-US/Products-and-Services/Services/PARALIGN-Roll-Alignment-Services/> [Accessed May 19, 2024].
- [3] Jeffery Carl Jones, *Vertical shaft alignment tool*, Patent US No. 7111407B2. <https://patents.google.com/patent/US7111407B2/en> [Accessed May 19, 2024].
- [4] W. T. Alley, J. E. Petermann, and R. C. Harvison, "Alignment, Plumbing and Bearing Adjustments for Vertical-Shaft Hydroelectric Generating Units", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-97, Iss. 4, pp. 1208-1216, July 1978. DOI: 10.1109/TPAS.1978.354602
- [5] K. Kregar, T. Ambrozic, D. Kogoj, R. Vežočnik, and A. Marjetič, "Determining the inclination of tall chimneys using the TPS and TLS approach", *Measurement*, Vol. 75, pp. 354-363, 2015. DOI: 10.1016/j.measurement.2015.08.006 [Accessed May 19, 2024].

- [6] R. Moritani, S. Kanai, H. Date, ..., Y. Yamauchi, "Cylinder-based simultaneous registration and model fitting of laser-scanned point clouds for accurate as-built modeling of piping system", *Computer-aided Design and Applications*, Vol. 15, Iss. 5, 2018. [https://www.cad-journal.net/files/vol_15/CAD_15\(5\)_2018_720-733.pdf](https://www.cad-journal.net/files/vol_15/CAD_15(5)_2018_720-733.pdf) [Accessed May 19, 2024].
- [7] X. Huang, S. Chen, and S. Guo, "A 3D Localization Approach for Subsea Pipelines Using a Spherical Detector", *IEEE Sensors Journal*, Vol. 17, No. 6, March 15, 2017. DOI: 10.1109/JSEN.2016.2586998
- [8] O. S. Salychov, *MEMS-based Inertial Navigation: Expectations and Reality*. Moscow: BMSTU Press, 2012. Corpus ID: 61419755
- [9] Ю. Н. Челноков, *Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2006, 512с.
- [10] Е. В. Овчинникова, "Определение параллельности валов при помощи. Paralign @", *Российский научно-технический журнал MEGATECH – новые технологии в промышленной диагностике и безопасности*, 2011, С. 88-89.

DETERMINE THE VERTICAL ANGLE MISALIGNMENT FOR THE CYLINDRICAL OBJECTS USING INERTIAL MEASUREMENT SENSORS

Abstract: *In this article, a plan to determine the vertical deviation angle of a cylindrical object utilizing an inertial sensor block is proposed. The measurement is performed by moving the measuring device from the horizontal platform and then sliding the measuring device over the surface of the cylindrical object. Based on kinematic relationships, build an algorithm to process the signal received from the inertial sensor block to determine the axis deviation angle relative to the vertical. The algorithm to determine the angle of deviation from the vertical axis of a cylindrical object was investigated using Matlab-Simulink software. Simulation results with a gyro drift rate of 36°/h allow for determining the misalignment angle of the cylindrical object relative to the vertical direction with an error of less than 0.0046°.*

Keywords: Inertial sensor block; vertical angle; cylindrical shaft; angle misalignment.

Nhận bài: 20/05/2024; Hoàn thiện sau phản biện: 19/07/2024; Duyệt đăng: 13/08/2024

