

Xây dựng thuật toán đo lường góc nghiêng cho khung cơ sở của robot vận chuyển người bệnh qua cầu thang tòa nhà

Dương Tấn Đạt*, Trần Đức Thuận, Lê Hồng Kỳ, Lê Hữu Toàn

Trường Đại học Sư phạm Kỹ Thuật Vĩnh Long, Số 73 Nguyễn Huệ, TP. Vĩnh Long, Vĩnh Long, Việt Nam.

*Email: datdt@vlute.edu.vn

Nhận bài: 08/5/2024; Hoàn thiện: 01/7/2024; Chấp nhận đăng: 11/10/2024; Xuất bản: 25/10/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.98.2024.155-163>

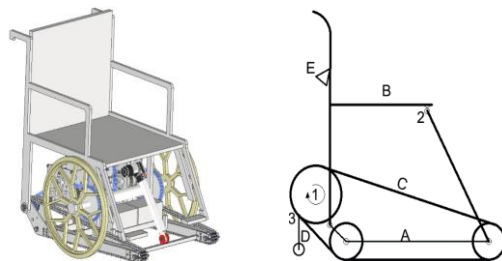
TÓM TẮT

Bài báo trình bày giải pháp và thuật toán ứng dụng giải thuật lọc Kalman để kết hợp các phương tiện đo vi cơ điện tử nhằm xác định các tham số lý thuyết của khung cơ sở trong cơ cấu của robot vận chuyển người có vấn đề về đi lại qua cầu thang tòa nhà. Các tham số này là cơ sở để hình thành thuật toán điều khiển một cách tự động các động cơ điện dùng trong hệ thống điều khiển tư thế ghế ngồi và cơ cấu xích di chuyển của robot.

Từ khoá: Cảm biến vi cơ điện tử; Con quay hồi chuyển; Bộ lọc Kalman; Cảm biến góc nghiêng.

1. MỞ ĐẦU

Robot vận chuyển người có khả năng lên, xuống cầu thang là một loại thiết bị hỗ trợ người có vấn đề về đi lại di chuyển mọi nơi trong cuộc sống ngay cả trên các địa hình phức tạp như cầu thang các tòa nhà. Cơ cấu cơ bản của robot vận chuyển người trong nghiên cứu này có hình dạng như hình 1. Robot hoạt động với 3 hệ thống điều khiển chính là hệ thống chuyển động, hệ thống điều khiển tư thế ngồi và cuối cùng là hệ thống thích nghi với bậc thang. Hệ thống được thiết kế với bộ truyền xích C và động cơ 1 làm cho robot có thể di chuyển cả trên mặt phẳng và trên cầu thang. Cơ cấu ghế ngồi B của người dùng là cơ cấu quyết định yếu tố an toàn của người dùng khi di chuyển trên cầu thang, vì vậy, nó cần phải luôn luôn được giữ cho mặt phẳng ghế ngồi vuông góc với vectơ gia tốc trọng trường. Hệ thống cân bằng ghế được điều khiển bởi động cơ DC thứ 2 và bộ đo trực quay ghế được gắn trên thanh A. Bên cạnh đó robot còn có cơ cấu thích nghi cầu thang D, hoạt động khi robot tiếp cận với mặt phẳng ở cuối cầu thang. Cơ cấu thích nghi hoạt động nhờ vào động cơ số 3 giúp robot không bị lật ngã khi robot di chuyển trên bậc thang chuẩn bị chuyển sang mặt phẳng của bề cầu thang. Nhiệm vụ của quá trình điều khiển hoạt động cho robot vận chuyển người là điều khiển các động cơ của các cơ cấu chấp hành trên robot. Hoạt động robot được hiệu quả nhờ vào việc xác định các tham số cơ bản trên robot, nhất là các tham số về góc nghiêng. Robot di chuyển trên các địa hình khác nhau, vì vậy, quá trình điều khiển robot hoạt động được hiệu quả cần có cơ cấu đo xác định tư thế của thanh A và ghế B cùng với camera quan sát E để xác định vị trí robot ở bậc cuối cầu thang. Việc đưa ra giải pháp đo lường hiệu quả, chính xác về trạng thái robot cũng như các cơ cấu chấp hành của robot là vấn đề cần thiết, điều này đảm bảo việc vận chuyển người lên, xuống cầu thang được an toàn và hiệu quả.



Hình 1. Cấu hình cơ bản của robot vận chuyển người qua cầu thang.

Hiện nay, một số nghiên cứu thực hiện việc đo lường góc nghiêng trong các thiết bị vận chuyển người chủ yếu tập trung vào dạng thiết bị vận chuyển người dạng xe lăn với mục đích đảm bảo an

toàn hoặc cảnh báo tai nạn trong quá trình di chuyển. Trong nghiên cứu [1] đã sử dụng cảm biến IMU để đo trạng thái hoạt động của robot dạng xe lăn điện nhằm phát hiện sự cố lật ngã. Trong nghiên cứu [2] độ nghiêng của trọng tâm robot được xác định bằng cảm biến IMU. Nghiên cứu sử dụng cảm biến TOF và cảm biến IMU để thực hiện việc phát hiện bậc thang và độ dốc trong điều khiển ổn định trọng tâm robot. Nghiên cứu [3] đã sử dụng cảm biến IMU để xác định tư thế robot bốn bậc tự do di chuyển lên xuống cầu thang. Cảm biến IMU cũng được sử dụng trong nghiên cứu [4] để xác định độ nghiêng của ghế so với mặt đất và được sử dụng làm tín hiệu điều khiển cho ghế được song song với mặt phẳng. Nghiên cứu chưa thực hiện việc xử lý tín hiệu cảm biến vì vậy còn nhiều sai lệch trong điều khiển. Nghiên cứu [5] đã sử dụng con quay hồi chuyển kết hợp với camera để ước tính và định hướng cho robot di chuyển trên cầu thang. Trong nghiên cứu này bộ lọc Kalman mở rộng được áp dụng trong ước tính trạng thái hoạt động của robot. Nghiên cứu [6] đã sử dụng cảm biến IMU kết hợp với tín hiệu phản hồi từ cơ cấu chấp hành để điều khiển tư thế robot phù hợp với địa hình. Cảm biến IMU cũng được dùng để đo trạng thái nghiêng của ghế ngồi trong nghiên cứu [7], tín hiệu cảm biến này được sử dụng kết hợp với bộ lọc Kalman để thực hiện quá trình điều khiển ghế ngồi được hiệu quả, kết quả nghiên cứu chưa cho thấy rõ được tính hiệu quả của cảm biến và bộ lọc. Có thể thấy việc sử dụng cảm biến vi cơ được thực hiện trong các nghiên cứu còn nhiều sai số, chưa hiệu quả trong quá trình điều khiển cũng như việc đo lường trạng thái hoạt động của robot.

Trạng thái robot và tư thế ghế ngồi khá quan trọng trong quá trình điều khiển robot vận chuyển người lên, xuống cầu thang được an toàn. Các tín hiệu nhận được từ thiết bị đo sẽ quyết định quá trình vận chuyển người của robot. Trong bài báo này nhóm tác giả đề xuất giải pháp và xây dựng thuật toán xác định góc nghiêng so với phương nằm ngang cho thanh A và vị trí ghế B. Đây là tham số cơ bản để điều khiển robot di chuyển và cân bằng người dùng thông qua động cơ 1 và 2. Cụ thể nghiên cứu ứng dụng thuật toán Kalman kết hợp với con quay đo tốc độ góc với gia tốc kế và từ kế để xác định tham số góc nghiêng cho hệ thống robot vận chuyển người.

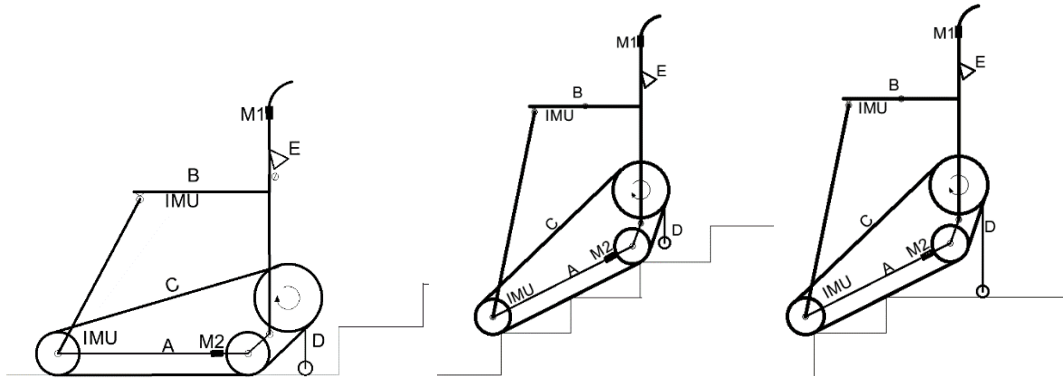
Bài báo được tổ chức với kết cấu như sau: Mục 2 trình bày giải pháp và thuật toán xác định góc nghiêng cho khung và ghế ngồi của robot vận chuyển người. Mục 3 trình bày chi tiết về kết quả mô phỏng của thuật toán Kalman kết hợp với thiết bị vi cơ trong việc xác định các tham số trong điều khiển robot vận chuyển người bệnh. Cuối cùng là các kết luận và hướng đề xuất của bài báo.

2. GIẢI PHÁP VÀ THUẬT TOÁN XÁC ĐỊNH GÓC NGHIÊNG

2.1. Giải pháp xác định góc nghiêng cho khung cơ sở robot vận chuyển người

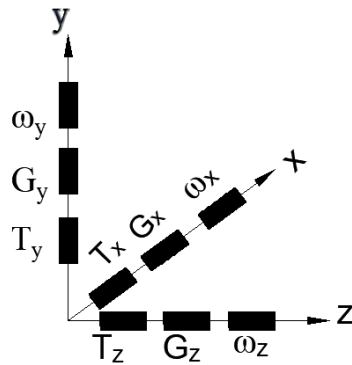
Để thực hiện việc đo các tham số góc nghiêng các thanh A (khung robot) và ghế ngồi B cần đặt 2 bộ vi cơ điện tử gồm bộ gia tốc kế và bộ con quay vi cơ đo tốc độ góc. Nhằm đảm bảo tốt các tín hiệu thu được từ cảm biến góc nghiêng cho quá trình điều khiển, thuật toán Kalman được sử dụng vào quá trình xử lý dữ liệu từ cảm biến này. Bên cạnh việc áp dụng thuật toán lọc Kalman kết hợp các phương tiện đo, để xác định tư thế ghế ngồi và thanh A cần gắn thêm hai bộ từ kế M_1 và M_2 . Thanh nối ghế và vị trí gắn từ kế M_1 và M_2 được dùng là thanh nhựa hoặc nhôm có độ dài đủ lớn để không ảnh hưởng của sắt thép trên robot đến từ trường của cơ cấu đo từ trường trái đất trong từ kế.

Khi robot di chuyển trên cầu thang hệ thống cảm biến được lắp đặt sẽ thực hiện việc đo trạng thái hoạt động của robot ở các giai đoạn như hình 2. Hệ thống cảm biến vi cơ được thiết lập để xác định sự thay đổi góc nghiêng của robot, đồng thời hai từ kế sẽ xác định hướng của robot khi chuyển động. Góc nghiêng của các khung cơ bản robot được đo lường thông qua cảm biến vi cơ giá rẻ và được thực hiện trong môi trường nhiễu yếu tố nhiễu tác động vì vậy không tránh khỏi hiện tượng sai lệch trong quá trình đo lường. Việc áp dụng thêm bộ lọc kalman để xử lý tín hiệu thu được từ cảm biến con quay vi cơ, từ kế và gia tốc kế là điều quan trọng trong điều khiển robot vận chuyển người. Robot vận chuyển người hoạt động chậm vì vậy có thể coi gia tốc gần bằng không nên tổng chỉ số của bộ ba gia tốc kế luôn bằng gia tốc trọng trường nơi robot hoạt động.



Hình 2. Trạng thái leo cầu thang của robot vận chuyển người.

Giả sử trong vùng hoạt động của robot vectơ cường độ từ trường trái đất và vectơ gia tốc trọng trường có phương và giá trị không đổi. Trong công trình nghiên cứu [8] và luận án của tiến sĩ Bùi Hồng Huệ đã đưa ra thuật toán dựa trên cơ sở đặt các phần tử đo như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ bố trí con quay vi cơ đo tốc độ góc, gia tốc kế và từ kế.

Trong nghiên cứu các bộ đo nằm trên cùng một hệ tọa độ và thuật toán được trình bày như sau: Trên sơ đồ trên T_x, T_y, T_z là các từ kế; G_x, G_y, G_z là các gia tốc kế và $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ là các con quay vi cơ. Khi chiếu hai vectơ xuống hệ tọa độ dẫn đường, ta có được các thành phần như sau: $B_{x0}, B_{y0}, B_{z0}, g_{x0}, g_{y0}, g_{z0}$. Robot chuyển động các từ kế có giá trị B_x, B_y, B_z và đây chính là hình chiếu của vectơ cường độ từ trường trái đất khi chiếu xuống các trục của hệ tọa độ liên kết. Do vậy, ta có:

$$(B_x, B_y, B_z)^T = A(B_{x0}, B_{y0}, B_{z0})^T \quad (1)$$

Gia tốc kế đo độ nghiêng khung cơ sở cho robot này không đo gia tốc chuyển động mà chỉ đo gia tốc cảm nhận tức là:

$$a_x = U_x - g_x, a_y = U_y - g_y, a_z = U_z - g_z \quad (2)$$

Trong đó: U_x, U_y, U_z là hình chiếu gia tốc tuyệt đối của robot chuyển động xuống các trục của hệ tọa độ liên kết; g_x, g_y, g_z là hình chiếu của vectơ gia tốc trọng trường xuống các trục tương ứng của hệ tọa độ liên kết. Khi robot chuyển động điều hoặc gần điều ta có:

$$U_x = 0, U_y = 0, U_z = 0 \quad (3)$$

$$(g_x, g_y, g_z)^T = A(g_{x0}, g_{y0}, g_{z0})^T \quad (4)$$

Từ (1) và (4) ta được:

$$B = (B_x, B_y, B_z)^T = A(B_{x0}, B_{y0}, B_{z0})^T, G = (g_x, g_y, g_z)^T = A(g_{x0}, g_{y0}, g_{z0})^T \quad (5)$$

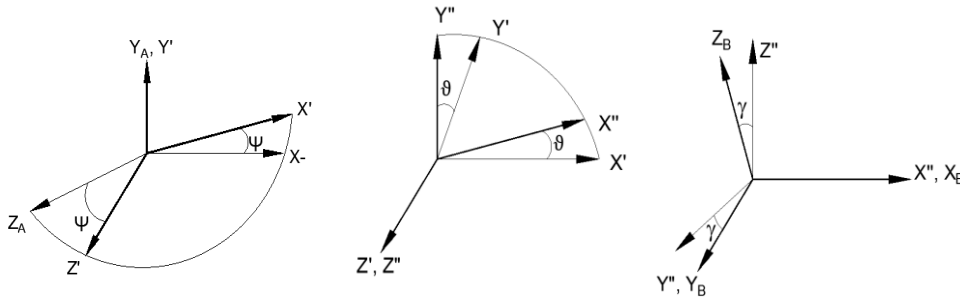
2.2. Ứng dụng thuật toán Kalman kết hợp với cảm biến vi cơ điện tử xác định góc nghiêng cho robot vận chuyển người lên, xuống cầu thang

Cảm biến IMU được bố trí trên robot vận chuyển người để xác định góc nghiêng của robot khi vượt các địa hình có nhiều sai lệch, vì vậy, thuật toán Kalman được xây dựng để có thể thu được tín hiệu điều khiển từ cảm biến giá rẻ này với độ chính xác cao nhất. Trong bài toán xây dựng thuật toán Kalman kết hợp với phương tiện đo vi cơ điện tử để xác định vị trí góc nghiêng của khung robot trước hết cần phải xây dựng vector trạng thái X [8]. Ta đặt các biến của vector trạng thái X như sau:

$$x_1 = q_0, x_2 = q_1, x_3 = q_2, x_4 = q_3, x_5 = b_1, x_6 = b_2, x_7 = b_3 \tag{6}$$

Trong đó: q_0, q_1, q_2, q_3 là các tham số Rodrig-Haminton; b_1, b_2, b_3 là các tham số biến đổi chậm thể hiện độ trôi của con quay.

Quan hệ giữa hai hệ tọa độ thiết lập trong đo lường của Robot được thể hiện qua ba phép quay:



Hình 4. Quan hệ giữa hai hệ tọa độ.

Các góc ψ, θ, γ thể hiện quan hệ giữa hai hệ tọa độ được xác định theo công thức sau:

$$\begin{cases} \psi = \arctg\left(-\frac{a_{13}}{a_{11}}\right) = \arctg\left(-\frac{2q_1q_3 - 2q_0q_2}{2q_0^2 + 2q_1^2 - 1}\right) \\ \theta = \arcsin(a_{12}) = \arcsin(2q_1q_2 + 2q_0q_3) \\ \gamma = \arctg\left(-\frac{a_{32}}{a_{22}}\right) = \arctg\left(-\frac{2q_2q_3 - 2q_0q_1}{2q_0^2 + 2q_2^2 - 1}\right) \end{cases} \tag{7}$$

Ở đây, q_0, q_1, q_2, q_3 được xác lập theo phương trình sau:

$$\begin{aligned} 2\dot{q}_0 &= -\omega_x q_1 - \omega_y q_2 - \omega_z q_3 + \varepsilon q_0; 2\dot{q}_1 = \omega_x q_0 - \omega_y q_3 + \omega_z q_2 + \varepsilon q_1 \\ 2\dot{q}_2 &= \omega_x q_3 + \omega_y q_0 - \omega_z q_1 + \varepsilon q_2; 2\dot{q}_3 = -\omega_x q_2 + \omega_y q_1 + \omega_z q_0 + \varepsilon q_3 \end{aligned} \tag{8}$$

Song trong thực tế thông tin do con quay cung cấp thường có dạng:

$$\omega_x^n = \omega_x + b_1 + w_x; \omega_y^n = \omega_y + b_2 + w_y; \omega_z^n = \omega_z + b_3 + w_z \tag{9}$$

Trong đó $\omega_x^n, \omega_y^n, \omega_z^n$ là chỉ số của các con quay, w_x, w_y, w_z là các nhiễu đo.

Từ công thức (6) và (9) ta có biểu thức cho tốc độ quay thật của con quay là:

$$\omega_x = \omega_x^n - x_5 - w_x; \omega_y = \omega_y^n - x_6 - w_y; \omega_z = \omega_z^n - x_7 - w_z \tag{10}$$

Từ cách đặt biến như công thức (6) và (10) ta có hệ phương trình về mối quan hệ như sau:

$$\begin{aligned} 2\dot{x}_1 &= -\omega_x x_2 - \omega_y x_3 - \omega_z x_4 = -(\omega_x^n - x_5 - w_x)x_2 - (\omega_y^n - x_6 - w_y)x_3 - (\omega_z^n - x_7 - w_z)x_4 \\ &= f_1^*(X) + g_{11}^* w_x + g_{12}^* w_y + g_{13}^* w_z \end{aligned} \tag{11}$$

$$2\dot{x}_2 = \omega_x x_1 + \omega_y x_3 - \omega_z x_4 = (\omega_x^n - x_5 - w_x)x_1 - (\omega_z^n - x_7 - w_z)x_3 - (\omega_y^n - x_6 - w_y)x_4 \quad (12)$$

$$= f_2^*(X) + g_{21}^* w_x + g_{22}^* w_y + g_{23}^* w_z$$

$$2\dot{x}_3 = \omega_y x_1 + \omega_x x_4 - \omega_z x_2 = (\omega_y^n - x_6 - w_y)x_1 - (\omega_z^n - x_7 - w_z)x_2 + (\omega_x^n - x_5 - w_x)x_4 \quad (13)$$

$$= f_3^*(X) + g_{31}^* w_x + g_{32}^* w_y + g_{33}^* w_z$$

$$2\dot{x}_4 = \omega_y x_2 - \omega_x x_3 + \omega_z x_1 = (\omega_z^n - x_7 - w_z)x_1 + (\omega_y^n - x_6 - w_y)x_2 + (\omega_x^n - x_5 - w_x)x_3 \quad (14)$$

$$= f_4^*(X) + g_{41}^* w_x + g_{42}^* w_y + g_{43}^* w_z$$

$$f_1^*(X) = -\omega_x^n x_2 + x_2 x_5 - \omega_y^n x_3 + x_3 x_6 - \omega_z^n x_4 + x_4 x_7 \quad (15)$$

$$f_2^* = \omega_x^n x_1 - x_5 x_1 + \omega_z^n x_3 - x_7 x_3 - \omega_y^n x_4 + x_6 x_4 \quad (16)$$

$$f_3^* = \omega_y^n x_1 - x_6 x_1 - \omega_z^n x_2 + x_7 x_2 - \omega_x^n x_4 - x_5 x_4; f_4^* = \omega_z^n x_1 - x_7 x_1 + \omega_y^n x_2 - x_6 x_2 - \omega_x^n x_3 + x_5 x_3 \quad (17)$$

$$g_{11}^* = x_2, g_{12}^* = x_3, g_{13}^* = x_4; g_{22}^* = -x_1, g_{23}^* = x_4, g_{23}^* = -x_3 \quad (18)$$

$$g_{31}^* = -x_4, g_{32}^* = -x_1, g_{33}^* = x_2; g_{41}^* = x_3, g_{42}^* = -x_2, g_{43}^* = -x_1 \quad (19)$$

Áp dụng phương pháp toán Ôle có lời giải số, các phương trình vi phân (11-14) với bước tính T sẽ có dạng:

$$x_i(k) = x_i(k-1) + \frac{T}{2} f_i^*(X(k-1)) + \frac{T}{2} [g_{i1}^* g_{i2}^* g_{i3}^*] [w_x w_y w_z]^T, i=1,2,3,4 \quad (20)$$

Vì các tham số thể hiện độ trôi của con quay biến đổi chậm nên có thể:

$$x_5(k) = x_5(k-1), x_6(k) = x_6(k-1), x_7(k) = x_7(k-1) \quad (21)$$

Bốn phương trình dạng (15) và 3 phương trình dạng (16) cho thấy hàm $f_i(X)$, $i = 1,2,3,4,5,6,7$ khi thực hiện bước đầu tiên của thủ tục xây dựng bộ lọc Kalman sẽ là:

$$f_i(X(k)) = x_i(k-1) + \frac{T}{2} f_i^*(X(k-1)), i=1,2,3,4 \quad (22)$$

$$f_i(X(k)) = x_i(k-1), i=5,6,7 \quad (23)$$

Các tham số tham chiếu là các thành phần của vectơ gia tốc trọng trường chiếu xuống các trục của hệ tọa độ liên kết được đo bởi các gia tốc kế các thành phần của vectơ từ trường chiếu xuống các trục của hệ tọa độ liên kết được đo bởi các từ kế. Từ hai biểu thức (5) phương trình quan sát của vectơ quan sát $Z = (z_1 z_2 z_3 z_4 z_5 z_6)^T$. Vectơ gia tốc trọng trường chiếu lên ba trục hệ tọa độ liên kết theo phương trình (5) sẽ có giá trị:

$$z_1(k) = h_1(X(k)) = a_{11}g_{x0} + a_{12}g_{y0} + a_{13}g_{z0} = (2x_1^2(k) + 2x_2^2(k) - 1)g_{x0} + (2x_2(k)x_3(k) + 2x_1(k)x_4(k))g_{y0} + (2x_2(k)x_4(k) - 2x_1(k)x_3(k))g_{z0} \quad (24)$$

$$z_2(k) = h_2(X(k)) = a_{21}g_{x0} + a_{22}g_{y0} + a_{23}g_{z0} = (2x_2(k)x_3(k) - 2x_1(k)x_4(k))g_{x0} + (2x_1^2(k) + 2x_2^2(k) - 1)g_{y0} + (2x_3(k)x_4(k) + 2x_1(k)x_2(k))g_{z0} \quad (25)$$

$$z_3(k) = h_3(X(k)) = a_{31}g_{x0} + a_{32}g_{y0} + a_{33}g_{z0} = (2x_2(k)x_4(k) + 2x_1(k)x_3(k))g_{x0} + (2x_3(k)x_4(k) - 2x_1(k)x_2(k))g_{y0} + (2x_1^2(k) + 2x_4^2(k) - 1)g_{z0} \quad (26)$$

Vectơ từ trường chiếu lên ba trục hệ tọa độ liên kết theo phương trình (5) có giá trị:

$$z_4(k) = h_4(X(k)) = a_{11}B_{x0} + a_{12}B_{y0} + a_{13}B_{z0} = (2x_1^2(k) + 2x_2^2(k) - 1)B_{x0} + (2x_2(k)x_3(k) + 2x_1(k)x_4(k))B_{y0} + (2x_2(k)x_4(k) - 2x_1(k)x_3(k))B_{z0} \quad (27)$$

$$z_5(k) = h_5(X(k) = a_{21}B_{x0} + a_{22}B_{y0} + a_{23}B_{z0} = (2x_2(k)x_3(k) - 2x_1(k)x_4(k))B_{x0} + (2x_1^2(k) + 2x_2^2(k) - 1)B_{y0} + (2x_3(k)x_4(k) + 2x_1(k)x_2(k))B_{z0} \quad (28)$$

$$z_6(k) = h_6(X(k) = a_{31}B_{x0} + a_{32}B_{y0} + a_{33}B_{z0} = (2x_2(k)x_4(k) + 2x_1(k)x_3(k))B_{x0} + (2x_3(k)x_4(k) - 2x_1(k)x_2(k))B_{y0} + (2x_1^2(k) + 2x_4^2(k) - 1)B_{z0} \quad (29)$$

Các gia tốc kế và từ kế khi được gắn vào 3 trục của hệ tọa độ liên kết luôn có nhiều đo, vì vậy, chỉ số của chúng được tính như sau:

$$\begin{aligned} z_1(k) &= h_1(X)(k) + v_1; z_2(k) = h_2(X)(k) + v_2; z_3(k) = h_3(X)(k) + v_3; \\ z_4(k) &= h_4(X)(k) + v_4; z_5(k) = h_5(X)(k) + v_5; z_6(k) = h_6(X)(k) + v_6 \end{aligned} \quad (30)$$

Từ phương trình (20) và (21) ta có ma trận phân bố nhiễu động học G có dạng như sau:

$$G = \begin{bmatrix} \frac{T}{2} g_{11}^* & \frac{T}{2} g_{12}^* & \frac{T}{2} g_{13}^* \\ \frac{T}{2} g_{21}^* & \frac{T}{2} g_{22}^* & \frac{T}{2} g_{23}^* \\ \frac{T}{2} g_{31}^* & \frac{T}{2} g_{32}^* & \frac{T}{2} g_{33}^* \\ \frac{T}{2} g_{41}^* & \frac{T}{2} g_{42}^* & \frac{T}{2} g_{43}^* \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (31)$$

Giả sử các thiết bị đo không có sự tương quan với nhau, ta có ma trận cường độ nhiễu động học và ma trận cường độ nhiễu đo được xác định là:

$$Q = \begin{bmatrix} \sigma_{\omega x}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\omega y}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\omega z}^2 \end{bmatrix}; \quad R = \begin{bmatrix} \sigma_{Ax}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{Ay}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{Az}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{Tx}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{Ty}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{Tz}^2 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Trong đó $\sigma_{\omega x}^2, \sigma_{\omega y}^2, \sigma_{\omega z}^2$ là phương sai sai số thành phần tốc độ góc của cảm biến đo tốc độ góc con quay vi cơ; $\sigma_{Ax}^2, \sigma_{Ay}^2, \sigma_{Az}^2$ là phương sai sai số đo của các gia tốc kế; $\sigma_{Tx}^2, \sigma_{Ty}^2, \sigma_{Tz}^2$ là phương sai sai số đo của từ kế.

Ma trận chuyển Φ_{k-1} có dạng:

$$\Phi_{k-1} = \partial F / \partial X|_{X=\hat{X}_{k-1}(+)} = [\phi_{ij}], i = \overline{1,7}, j = \overline{1,7} \quad (33)$$

Ma trận quan sát H_k có dạng:

$$H_k = \partial h / \partial X|_{X=\hat{X}_{k-1}(-)} = [h_{ij}], i = \overline{1,6}, j = \overline{1,7} \quad (34)$$

Các biến số ϕ_{ij}, h_{ij} được xác định tương tự như cách thực hiện trong tài liệu [8]. Từ các biểu thức của ma trận chuyển Φ_{k-1} và ma trận đo H_k có thể thấy các phần tử ma trận chuyển phụ thuộc

vào chỉ số thực của các phần tử đo thành phần vectơ vận tốc góc và phụ thuộc vào trạng thái vectơ động học. Đồng thời các phần tử ma trận đo chỉ phụ thuộc vào trạng thái vectơ động học. Điều kiện cần và đủ để thực hiện được việc đánh giá vectơ trạng thái $X(t)$ là các ma trận phải thỏa mãn đẳng thức sau:

$$\text{Rank}[H^T \Phi^T H^T \dots (\Phi^T)^{n-1} H^T] = n \quad (35)$$

Vì ma trận chuyển Φ_{k-1} và ma trận đo H_k có kích thước khá lớn nên quá trình kiểm tra điều kiện cho đẳng thức (35) được thực hiện trên Matlab-Simulink. Kết quả kiểm tra trên phần mềm có thể thấy nếu các cơ cấu đo thành phần vectơ tốc độ góc có độ trôi không thì 6 tham số tham chiếu là đủ điều kiện để hòa mãn (21). Nếu các cơ cấu đo thành phần vectơ tốc độ góc không có độ trôi không thì chỉ cần 3 tham số tham chiếu của vectơ từ trường Trái Đất là đủ để điều khiển (21) được thỏa mãn. Lúc này kích thước ma trận chuyển Φ_{k-1} sẽ giảm từ (7x7) xuống còn (4x4) và ma trận đo H_k giảm từ (6x7) xuống còn (3x4).

Tuy nhiên ở robot vận chuyển người bệnh vì được chế tạo chủ yếu từ vật liệu là sắt nên không thể gá từ kế cùng với các cơ cấu đo con quay hay gia tốc kế, vì vậy, từ kế phải được đặt ở vị trí xa tránh ảnh hưởng bởi khối sắt thép bằng thanh nhựa như mắc M_1 . Như vậy, từ kế không cùng hệ tọa độ với các phần tử đo khác, vì vậy, không thể dùng một cách máy móc thuật toán nêu trên. Để có thể áp dụng được thuật toán trên nghiên cứu đã thực hiện các giải pháp sau:

Trước hết cần xác định quan hệ ma trận cosin chỉ phương mô tả quan hệ giữa hệ tọa độ của từ kế và hệ tọa độ gắn con quay cùng gia tốc kế và gọi ma trận đó là D . Kế tiếp sẽ hiệu chỉnh công thức (5) bằng công thức sau:

$$B = D.(B_x, B_y, B_z)^T \quad (36)$$

Việc xác định ma trận D cũng là một vấn đề có tính học thuật. Chúng tôi đề nghị áp dụng giải pháp đã được trình bày trong công trình [8].

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Quá trình kiểm nghiệm kết quả thuật toán được thực hiện trên phần mềm Matlab, con quay vi cơ đo tốc độ góc có độ trôi và gia tốc kế không có độ lệch, đồng thời robot chuyển động gần điều.

Chương trình mô phỏng được thực hiện thông qua việc đặt các trạng thái ban đầu của con quay vi cơ, các góc định hướng của robot khi chuyển động. Các tham số Rodrig-Haminton q_0, q_1, q_2, q_3 được tính trên cơ sở của góc định hướng vừa đặt, tham số hỗ trợ trung gian cũng được thực hiện. Việc đặt độ trôi của con quay, trạng thái ban đầu của bộ lọc Kalman, đặt từ trường trái đất, vectơ gia tốc trọng trường, và vận tốc robot được thực hiện trong giai đoạn kế tiếp. Tiếp theo là các giả định quay và tính toán, thiết lập các mối quan hệ với hệ tọa độ liên kết, các lệnh xây dựng và hình thành các ma trận Φ, H, G . Xây dựng ma trận cường độ nhiễu động học và nhiễu đo, hình thành tham số ước lượng, tính toán tham số tham chiếu ứng với tham số ước lượng được thực hiện trong quy trình ứng dụng bộ lọc Kalman. Các kết quả được hiển thị thông qua sự quy đổi các tham số chức năng ứng với các phần tử của vectơ ước lượng và các tính toán góc định hướng trên cơ sở các tham số ước lượng.

Bộ tham số được sử dụng trong mô phỏng được trình bày như sau:

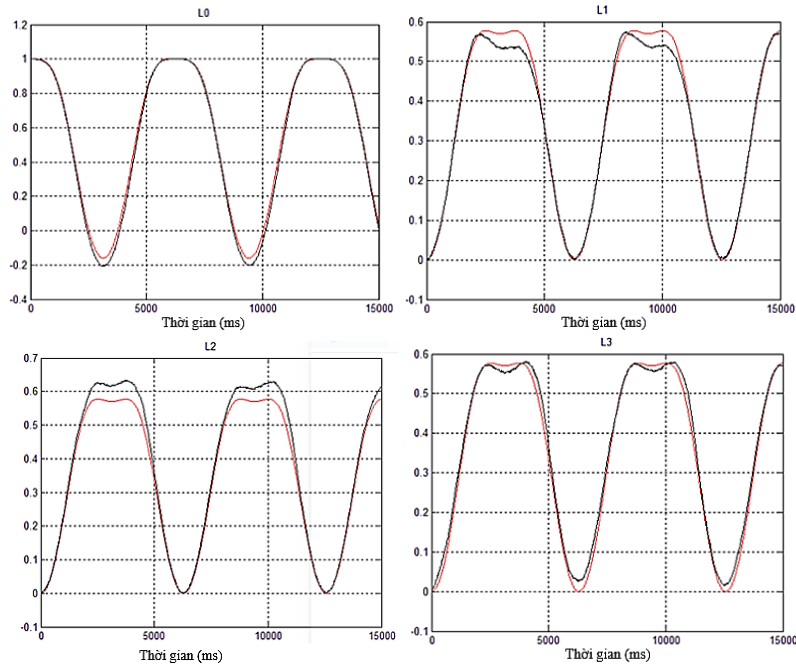
$$l_0 = \cos(\psi/2) \cdot \cos(\nu/2) \cdot \cos(\gamma/2) - \sin(\psi/2) \cdot \sin(\nu/2) \cdot \sin(\gamma/2)$$

$$l_1 = \cos(\psi/2) \cdot \cos(\nu/2) \cdot \sin(\gamma/2) + \sin(\psi/2) \cdot \sin(\nu/2) \cdot \cos(\gamma/2)$$

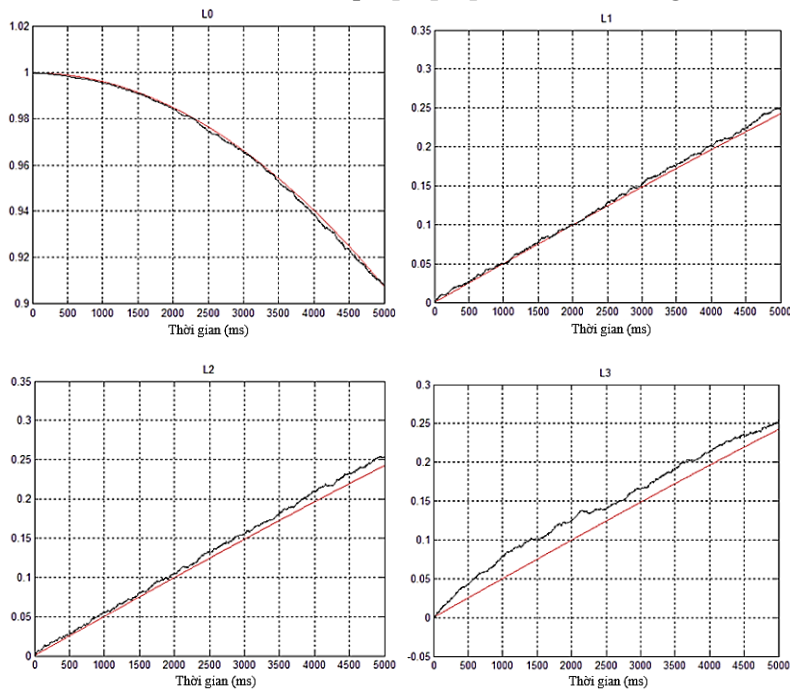
$$l_2 = \sin(\psi/2) \cdot \cos(\nu/2) \cdot \cos(\gamma/2) + \cos(\psi/2) \cdot \sin(\nu/2) \cdot \sin(\gamma/2)$$

$$l_3 = \cos(\psi/2) \cdot \sin(\nu/2) \cdot \cos(\gamma/2) - \sin(\psi/2) \cdot \cos(\nu/2) \cdot \sin(\gamma/2)$$

Phương án mô phỏng đầu tiên được nhóm nghiên cứu thực hiện trên giả thuyết robot vận chuyển có sự dao động khi vận chuyển. Kết quả mô phỏng được trình bày như hình 5. Phương án thứ hai được mô phỏng khi robot chuyển động có sự thay đổi tuyến tính, kết quả được thể hiện ở hình 6.



Hình 5. Các tham số q_0, q_1, q_2, q_3 khi có dao động.



Hình 6. Các tham số q_0, q_1, q_2, q_3 khi chuyển động tuyến tính.

Trên hình trên là các tham số q_0, q_1, q_2, q_3 để xác định các góc giữa hệ tọa độ liên kết của robot với hệ tọa độ cố định (lấy mặt phẳng ngang thẳng bằng và đường trùng với vectơ gia tốc trọng trường làm cơ sở). Trên hình 5, hình 6 đường màu đỏ thể hiện giá trị thực còn đường màu đen là đường tính được qua phép đo từ các con quay vi cơ và các gia tốc kế, từ kế thông qua giải thuật lọc Kalman đã trình bày ở trên. Qua mô phỏng cho thấy giải thuật lọc Kalman có tính hội tụ với giá trị thật. Với kết quả thể hiện ở hình 5 được thực nghiệm với robot có sự dao động cho thấy,

thuật toán Kalman kết hợp với giải pháp lắp đặt từ kế, gia tốc kế và con quay cho đáp ứng tốt với biến động của robot. Trong hình 6 cũng có thể thấy tín hiệu tụ của thuật toán được xây dựng có tính hiệu quả với robot di chuyển tuyến tính. Kết quả trong hình 5 và 6 điều thấy đường màu đen, giá trị tính toán của giải thuật lọc Kalman tiến về giá trị thật.

4. KẾT LUẬN

Nhóm nghiên cứu đã đưa thêm giải pháp lắp đặt cơ cấu từ kế hợp lý vào robot và đồng bộ với nó là các giải pháp ứng dụng các thuật toán đã có để tạo ra thuật toán mới cho thiết bị vận chuyển người bệnh qua cầu thang. Kết quả nghiên cứu được thực nghiệm trên Matlab để kiểm chứng tính hiệu quả của thuật toán và giải pháp đã xây dựng cho việc đo góc nghiêng cơ sở của robot vận chuyển người bệnh qua cầu thang. Kết quả cho thấy hiệu quả của giải pháp đo lường và tính khả thi của thuật toán Kalman kết hợp với con quay vi cơ và các gia tốc kế, từ kế trong việc đo lường trên robot vận chuyển người. Kết quả nghiên cứu sẽ được ứng dụng vào xây dựng thuật toán điều khiển robot vận chuyển người lên, xuống cầu thang được hiệu quả. Đồng thời, trên cơ sở đó nghiên cứu sẽ được ứng dụng vào chế tạo robot vận chuyển người di chuyển trên các địa hình có độ nghiêng khác nhau.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của ban lãnh đạo trường, cùng toàn thể cán bộ giảng viên Bộ môn cơ điện, Phòng thí nghiệm Khoa Cơ Khí – Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vĩnh Long, đã hỗ trợ và tạo điều kiện cho chúng tôi trong quá trình thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Jesse Leaman, Hung Manh La, "iChair: Intelligent Powerchair for Severely Disabled People," in The ISSAT International Conference on Modeling of Complex Systems and Environments (MCSE), Da Nang, Viet Nam, (2015).
- [2]. Hyun-Chang Hwang, Won-Young Lee, Jong-Hee Ha, Eung-Hyuck Lee, "A Study on Autonomous Stair-climbing System," J.inst.Korean.electr.electron.eng, vol. 25, pp. 262-270, (2021).
- [3]. Daisuke Endo, Atsushi Watanabe, and Keiji Nagatani, "Stair Climbing Control for 4-DOF Tracked Vehicle Based on Internal Sensors," Hindawi journal of Robotics, (2017).
- [4]. Basilio Dobras Castillo, Yen-Fu Kuo and Jui-Jen Chou, "Novel Design of a Wheelchair with Stair Climbing Capabilities," Journal of Information and Communication Engineering (JICE), vol. 2, pp. 99-105, (2016).
- [5]. Anastasios I. Mourikis, Nikolas Trawny, Stergios I. Roumeliotis, Daniel M. Helmick, and Larry Matthies, "Autonomous Stair Climbing for Tracked Vehicles," The International Journal of Robotics Research, vol. 26, no. 7, pp. 737 - 758, (2007).
- [6]. Bibhu Sharma, Branesh M Pillai, Korn Borvorntanajanya, Jackrit Suthakorn, "Modeling and Design of a Stair Climbing Wheelchair with Pose Estimation and Adjustment," Journal of Intelligent & Robotic Systems, vol. 106, (2022).
- [7]. Luis A.M. Riascos, "A low cost stair climbing wheelchair," IEEE, pp. 627-632, (2015).
- [8]. Trần Đức Thuận, Bùi Ngọc Mỹ, "Thiết bị dẫn đường quán tính và đo cao trong hệ thống điều khiển thiết bị bay," NXB Khoa học và Kỹ thuật, trang 185-194, (2015).

ABSTRACT

Developing an algorithm for measurement of tilt angle for the base frame of a robot that transports patients through building stairs

This paper presents a solution and algorithm for applying the Kalman filter algorithm to combine microelectromechanical measuring tools to determine the theoretical parameters of the basic frame in the structure of a human transport robot with people with mobility problems forth through the building's stairs. These parameters are the basis for forming an algorithm to automatically control the electric motors used in the seat posture control system and the robot's moving chain mechanism.

Keywords: Microelectromechanical sensor; Gyroscope; Kalman filter; Tilt angle sensor.