

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT ĐIỀU KHIỂN VỊ TRÍ GHẾ NGỒI TRÊN ROBOT VẬN CHUYỂN NGƯỜI LÊN CẦU THANG

AN APPLICATION OF SLIDING CONTROL ALGORITHM CONTROL OBJECT POSITION ON ROBOT TRANSPORTING PEOPLE UP STAIRS

DƯƠNG TẤN ĐẠT¹, NGUYỄN THUẬN NGUYÊN¹,
NGUYỄN DUY TÂN¹, ĐỒ VĂN CHÌA¹, LÊ HỒNG KỶ¹
Trường Đại học Sư phạm Kỹ Thuật Vĩnh Long

Nhận bài (Received): 09/03/2024; Phản biện (Reviewed): 15/03/2024; Chấp nhận (Accepted): 22/3/2024

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp điều khiển vị trí đối tượng ngồi trên robot vận chuyển người lên cầu thang thông qua việc áp dụng thuật toán điều khiển trượt vào điều khiển cơ cấu chấp hành tuyến tính. Đồng thời bài báo cũng trình bày việc kết hợp bộ lọc Kalman để xử lý tín hiệu đo được từ cảm biến góc nghiêng để xác định chính xác trạng thái hoạt động của người dùng khi robot leo cầu thang. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm cho thấy khả năng đáp ứng của bộ điều khiển và việc lọc nhiễu có hiệu quả trong quá trình điều khiển vị trí của người dùng thích nghi với sự thay đổi của môi trường. Nghiên cứu tạo tiền đề cho việc thiết kế chế tạo robot vận chuyển người lên, xuống cầu thang an toàn, hiệu quả.

Từ khóa: Robot, điều khiển trượt, bộ lọc Kalman, điều khiển vị trí

ABSTRACT

This paper presents a method to control the position of people sitting on a robot transporting people up and down stairs by applying a sliding control algorithm to control a linear actuator. At the same time, the article also presents the combination of a Kalman filter to process signals measured from the tilt angle sensor to accurately determine the user's operating status when the robot climbs stairs. Simulation and experimental results show that the controller's responsiveness and noise filtering are effective in the process of controlling the user's position to adapt to changes in the environment. The research creates a premise for Designing and manufacturing robots to transport people up and down stairs safely and effectively.

Keywords: Robot, Sliding mode control, Kalman filter, position control.

1. GIỚI THIỆU

Quá trình điều khiển robot vận chuyển người lên, xuống cầu thang chủ yếu là quá trình điều khiển chuyển động cho robot di

chuyển trên các địa hình và điều khiển vị trí người dùng trên robot. Các thuật toán điều khiển thường được áp dụng phụ thuộc vào thiết kế kết cấu của robot với mục đích

mang lại tính hiệu quả trong điều khiển, đảm bảo an toàn cho người dùng không bị lật ngã khi di chuyển lên cầu thang. Nghiên cứu điều khiển vị trí người dùng trên robot leo cầu thang còn nhiều hạn chế vì thuật toán điều khiển chưa linh hoạt và thích nghi được với sự thay đổi của môi trường, tải trọng. Trong nghiên cứu [1] đã sử dụng bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển PI để điều khiển hệ thống robot di chuyển bằng cụm bánh, thuật toán điều khiển dùng để ổn định robot di chuyển lên, xuống cầu thang và thích nghi với sự thay đổi bậc thang. Tuy nghiên cứu có một số kết quả khả quan trong môi trường mô phỏng nhưng robot vẫn chưa thực hiện hiệu quả trong các điều kiện môi trường thay đổi về tải trọng và môi trường đột ngột. Nghiên cứu [2] đã sử dụng bộ điều khiển trượt với hệ MIMO điều khiển vị trí ghế ngồi hệ thống xe lăn dạng cụm bánh leo cầu thang, hệ thống này còn nhiều rung lắc, điều khiển cân bằng ghế ngồi chưa ổn định do sử dụng cơ cấu bánh răng hành tinh. Nghiên cứu [3] đã sử dụng bộ điều khiển mờ để điều khiển robot trong môi trường 4D. Kết quả mô phỏng có thể thấy hệ thống mô tả được quá trình cân bằng cho hệ thống khi bị tác động bởi nhiễu trong vòng 5 giây tuy nhiên do ảnh hưởng của nhiễu hệ thống có nhiều dao động và chỉ được khảo sát với môi trường mô phỏng. Nghiên cứu ứng dụng thiết bị vi cơ điện tử vào quá trình đo lường robot vận chuyển được thực hiện ở trong và ngoài nước còn hạn chế vì giá thành cao đối với các cảm biến có độ chính xác cao, sai số lớn đối với các cảm biến có độ chính xác thấp điều này làm ảnh hưởng đến quá trình điều khiển robot. Trong nghiên cứu [4] 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,

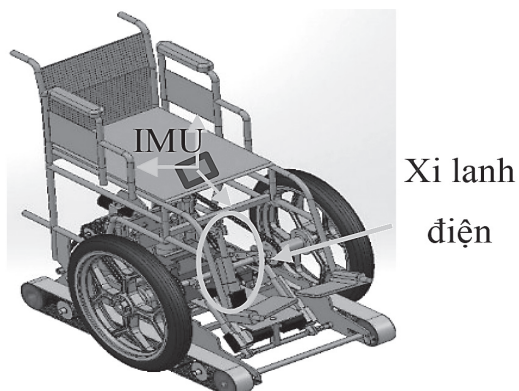
nghiên cứu chưa xử lý dữ liệu cảm biến. Trong nghiên cứu [5] độ nghiêng của trọng tâm robot được xác định bằng cảm biến IMU. Tín hiệu cảm biến được sử dụng để điều khiển cho cơ cấu hạ bánh xích robot xuống mặt đất được an toàn. Nghiên cứu sử dụng cảm biến TOF và cảm biến IMU để thực hiện việc phát hiện bậc thang và độ dốc trong điều khiển ổn định trọng tâm robot, chưa thực hiện việc điều khiển vị trí đối tượng sử dụng trên robot. Nghiên cứu [6] đã sử dụng cảm biến IMU để xác định tư thế robot bốn bậc tự do di chuyển lên xuống cầu thang. Trong nghiên cứu này với sự tham gia cảm biến độ nghiêng xác định tư thế robot đang chuyển động từ đó đưa ra các tín hiệu điều khiển nhằm đảm bảo cho robot không bị lật ngã. Tuy nhiên, nghiên cứu chưa có sự tham gia điều khiển vị trí đối tượng và tín hiệu cảm biến chưa thực hiện các phương pháp lọc để giảm sai số trong điều khiển. Nghiên cứu [7] 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 dừng lại việc điều hướng hiệu quả cho robot leo lên xuống cầu thang hiệu quả, chưa thực hiện việc vận chuyển người và điều khiển robot bị lật ngã khi lên các bậc thang có độ dốc cao. Nghiên cứu [8] thực hiện nghiên cứu điều khiển tư thế tự động cho đối tượng sử dụng trên robot thông qua kết cấu cơ khí và hệ thống điều khiển thích nghi với sự thay đổi của bậc thang. Trong nghiên cứu 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. Tín hiệu từ cảm biến chưa được xử lý hệ thống còn nhiều hạn chế về kết cấu.

Từ những nghiên cứu đã thực hiện trên, có thể thấy việc ứng dụng thuật toán điều khiển kết hợp với tín hiệu cảm biến chưa mang lại hiệu quả cho quá trình vận chuyển người của robot vì vậy giải pháp điều chỉnh tự động và thuật toán điều khiển tối ưu vị trí người ngồi trên robot cần được khảo sát một cách hiệu quả hơn. Trong nghiên cứu này sẽ trình bày hệ thống cân bằng vị trí người ngồi trên robot bằng cảm biến IMU kết hợp với việc điều khiển xi lanh điện thực hiện thích nghi với độ dốc của bậc thang thông qua thuật toán điều khiển trượt. Thuật toán điều khiển trượt với nhiều ưu điểm về cấu trúc điều khiển đơn giản, đáp ứng quá độ tốt, không đòi hỏi mô hình đối tượng phải chính xác..... nên thuật toán này được chọn để điều khiển cho hệ thống cân bằng vị trí trên robot leo cầu thang.

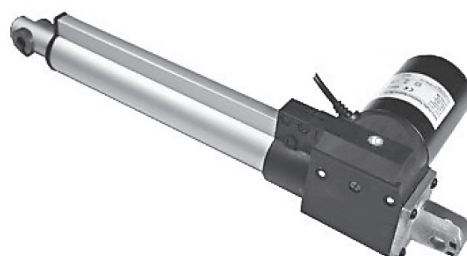
Bài báo được tổ chức với kết cấu như sau: Mục 2 trình bày cơ sở xây dựng bộ điều khiển cho robot. Mục 3 trình bày chi tiết về bộ lọc tín hiệu Kalman. Kết quả mô phỏng được trình bày trong mục 4. Cuối cùng là các kết luận và hướng đề xuất của bài báo.

2. XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN

Bộ điều khiển được xây dựng dựa trên kết cấu của robot dạng xe lăn điện, có bộ phận cân bằng vị trí người ngồi thông qua xi lanh điện được thiết kế như Hình 1. Hệ thống ghế ngồi được điều khiển nhằm đảm bảo vị trí mặt phẳng ghế luôn luôn song song với mặt phẳng mặt đất. Cảm biến IMU được lắp đặt tại vị trí tâm ghế ngồi để đo độ nghiêng của robot khi di chuyển lên dốc cầu thang. Tín hiệu từ cảm biến sẽ điều khiển xi lanh điện thực hiện việc điều khiển cân bằng trọng tâm ghế so với mặt phẳng thiết lập trước đó.



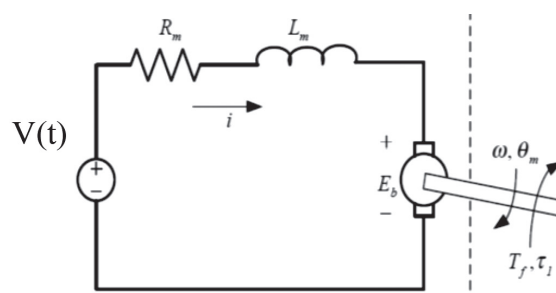
Hình 1: Mô hình robot leo cầu thang



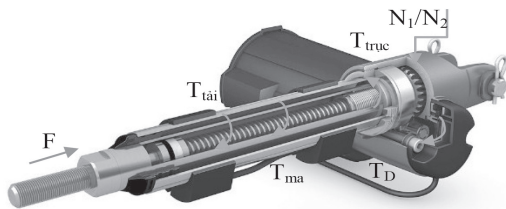
Hình 2: Xi lanh điện

2.1. Cơ cấu tuyến tính điều chỉnh vị trí

Cấu trúc cơ bản của xi lanh điện được trình bày như hình 4, bộ phận của xi lanh điện bao gồm một động cơ DC, hai bánh răng, trục vít đai ốc. Cơ cấu truyền động của vít bị lực F_t do tải trọng sẽ làm cản trở việc chuyển đổi từ chuyển động quay của động cơ sang chuyển động tịnh tiến của trục vít. Quá trình mô hình toán cơ cấu cân bằng được suy ra từ việc xây dựng phương trình động cơ, phương trình trục vít và phương trình truyền động của hệ thống.



Hình 3: Sơ đồ mạch động cơ DC



Hình 4: Cấu trúc cơ bản của xi lanh điện

Động cơ DC điều khiển cho xi lanh điện giống như động cơ DC thông thường, áp dụng định luật Kirchhoff cho mạch Hình 3 ta được:

$$V(t) = L_m \frac{di}{dt} + R_m i + K_b \omega$$

$$\Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{1}{L_m} \left[V(t) - R_m i - K_b \frac{d\theta}{dt} \right] \quad (1)$$

Trong đó L_m (H) - điện cảm phản ứng, R_m (Ω) - điện trở phản ứng, K_b (V/rad/s) - hệ số suất điện động phản ứng, ω (rad/s) - tốc độ quay của động cơ, θ (Arc) - góc quay của trục động cơ, i (A) - dòng điện, V (V) - điện áp phản ứng, E_b (V) - suất điện động phản ứng.

Áp dụng định luật II Newton cho chuyển động quay của trục động cơ:

$$T_{DC} = T_{tai} + T_D + T_I \quad (2)$$

$$\Leftrightarrow T_{DC}(t) = T_{tai}(t) + b\omega(t) + J_m \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (3)$$

Với $T_{DC}(t) = K_t i(t)$, $T_{tai}(t) = 0$ ta có

$$J_m \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = K_t i(t) - b \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (4)$$

Trong đó J_m ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) - Momen quán tính của roto, T_{tai} (Nm) - Momen tải, T_{DC} (Nm) - Momen động cơ, b (Nm/s) - hệ số giảm chấn, K_t (Nm/A) - hệ số Momen

Khi thực hiện việc điều khiển vị trí đối tượng theo cơ chế như Hình 1. Các đại lượng ảnh hưởng đến quá trình điều khiển vị trí của đối tượng như momen tải T_{tai} , momen ma sát $T_{ma\ sat}$, momen trục vít, momen động cơ T_{DC} , và tỉ số truyền giữa

trục động cơ và trục vít là N_1/N_2 . Các đại lượng này được trình bày trong Hình 4.

Moment hệ thống:

$$J\dot{\omega} = T_{DC} - T_{masat} - T_{Load} \quad (5)$$

$$T_{masat} = f_b \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

$$T_{Load} = \frac{F_l P}{2\pi\eta n} \quad (7)$$

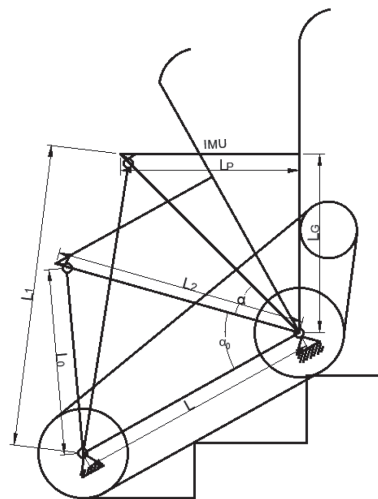
Từ phương trình (5-7) ta có thể biến đổi như sau:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = K_i i(t) - f_b \frac{d\theta}{dt} - \frac{F_l P}{2\pi\eta n} \quad (8)$$

Trong đó J là momen quán tính của trục vít, $J = J_m + J_L(N_1/N_2)$, ω là vận tốc góc, T_{load} là momen chịu tải trọng m , $T_{ma\ sat}$ là momen ma sát, f_b là hệ số ma sát nhớt của hệ truyền động, P là bước vít, η là hiệu suất hệ thống, n là tỉ số truyền, J_b là momen quán tính của hệ truyền động.

2.2. Mối quan hệ tín hiệu cảm biến và cơ cấu tuyến tính

Cảm biến IMU được đặt trên vị trí ngồi, tín hiệu cảm biến sẽ thực hiện việc đo sai lệch góc nghiêng của ghế so với vị trí mặt phẳng ban đầu. Sơ đồ cấu trúc của ghế được thiết lập như Hình 5.



Hình 5: Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển vị trí đối tượng

Khi di chuyển lên dốc hay các bậc thang vị trí trọng tâm của đối tượng bị dịch chuyển so với trạng thái ban đầu một góc α , xi lanh điện được thiết lập kết hợp với cảm biến góc nghiêng IMU để thực hiện việc cân bằng trạng thái này. Cảm biến góc nghiêng sẽ thực hiện đo giá trị góc sai lệch α và điều khiển xi lanh di chuyển đến vị trí cân bằng bằng một khoảng ΔL . Với các thông số được trình bày như sau: L_1 , L_0 lần lượt là hành trình chuyển động và hành trình ban đầu của xi lanh. L_G là chiều cao ghế ngồi, L_p là chiều rộng ghế, L là khoảng cách hai điểm đặt ghế, α là góc dịch chuyển của ghế đo được từ cảm biến, α_0 là góc thiết lập ban đầu.

$$\Delta L = L_1 - L_0 = \frac{\theta P}{2\pi n} \quad (9)$$

Khoảng dịch chuyển ΔL của hệ thống được điều khiển thông qua tín hiệu α nhận được từ cảm biến IMU vì vậy ta có thể thiết lập mối quan hệ giữa chiều dài hành trình xi lanh với giá trị góc quay như sau:

$$\Delta L = L^2 + L_2^2 - 2LL_2 \cos(\alpha_0 + \alpha) - L_0 = \frac{\theta P}{2\pi n} \quad (10)$$

Thay công thức (10) vào biểu thức (8) ta được:

$$\begin{aligned} J \frac{d^2\theta}{dt} &= Ki(t) - f_b \frac{d\theta}{dt} - \frac{F_t P}{2\pi\eta n} \\ &= Ki(t) - f_b \frac{d\theta}{dt} - \frac{F_t}{\eta\theta} \Delta L \end{aligned} \quad (11)$$

Đặt $x_1 = \theta(t)$, $x_2 = \dot{\theta}(t)$ và ngõ ra của hệ thống là $y(t) = \theta(t) = x_1$

Phương trình (13) có thể biểu diễn dưới dạng phương trình trạng thái như sau:

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t) \\ \dot{x}_2(t) = \frac{1}{J} [Ki(t) - f_b x_2(t) - \frac{F_t}{\eta x_1(t)} \Delta L] \end{cases} \quad (12)$$

2.3. Xây dựng thuật toán điều khiển trượt

Đối với hệ thống cân bằng vị trí ghế ngồi của robot vận chuyển người có hệ phương trình bậc hai như công thức (11), nhằm hạn chế hiện tượng rung động quanh mặt trượt khi biên độ của luật điều khiển thay đổi lớn, ta chọn hàm trượt PID [9] có dạng:

$$s(t) = \dot{e}(t) + \lambda_1 e(t) + \lambda_2 \int e(t) d(t) \quad (13)$$

Trong đó $e(t) = y(t) - x_0(t)$ là sai số giữa đáp ứng ngõ ra và tín hiệu mong muốn. Với $y(t)$ là tín hiệu ngõ ra, $x_0(t)$ là tín hiệu mong muốn. Hai hệ số λ_1 , λ_2 được chọn là hệ số dương sao cho phương trình đặt tính $s^2 + \lambda_1 s + \lambda_2 = 0$ thỏa tiêu chuẩn ổn định Hurwitz, tức là có các nghiệm của nó với phần thực âm.

Thay phương trình $e(t)$ vào phương trình (13) ta được:

$$\begin{aligned} s(t) &= \dot{y}(t) - \dot{x}_0(t) + \lambda_1 (y(t) - x_0(t)) \\ &\quad + \lambda_2 \int (y(t) - x_0(t)) d(t) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \dot{s}(t) &= \ddot{y}(t) - \ddot{x}_0(t) + \lambda_1 (\dot{y}(t) - \dot{x}_0(t)) \\ &\quad + \lambda_2 (y(t) - x_0(t)) \end{aligned} \quad (15)$$

Theo lý thuyết ổn định Lyapunov, ta chọn hàm xác định dương T sao cho:

$$T = \frac{1}{2} s^2 \quad (16)$$

$$\Rightarrow \dot{T} = s(t)\dot{s}(t) \quad (17)$$

Để \dot{T} xác định âm, chọn $\dot{s} = -k \text{sign}(s(t))$ [9] thay vào \dot{T} ta sẽ được:

$$\dot{T} = s(t)k \text{sign}(s(t)) \quad (18)$$

Với k là hằng số dương được chọn trước sao cho bất kỳ trường hợp nào thì $\dot{s} < 0$ khi $s \neq 0$ vẫn luôn thỏa mãn.

Từ phương trình (15) và (18) với $\dot{s} = -k \text{sign}(s(t))$ ta có:

$$\begin{aligned}
-ksign(s(t)) &= \dot{x}_2(t) - \ddot{x}_0(t) + \lambda_1(x_2(t) - \dot{x}_0(t)) \\
&\quad + \lambda_2(x_1(t) - x_0(t)) \\
&= \frac{1}{J} [u(t) - f_b x_2(t) - \frac{F_t}{\eta x_1(t)} \Delta(t)] \\
&\quad - \ddot{x}_0(t) + \lambda_1(x_2(t) - \dot{x}_0(t)) \\
&\quad + \lambda_2(x_1(t) - x_0(t)) \quad (19)
\end{aligned}$$

Luật điều khiển trượt của hệ thống có thể được thiết kế như sau:

$$\begin{aligned}
u(t) &= f_b x_2(t) + \frac{F_t}{\eta x_1(t)} \Delta L + J[\ddot{x}_0(t) \\
&\quad - \lambda_1(x_2(t) - \dot{x}_0(t)) - \lambda_2(x_1(t) \\
&\quad - x_0(t)) - ksign(s(t))] \quad (20)
\end{aligned}$$

3. Xây dựng bộ lọc Kalman

Bộ lọc kalman là bộ lọc tín hiệu nhiễu bằng quan sát các phép đo trong một khoảng thời gian xác định. Bộ lọc kalman được thực hiện gồm hai giai đoạn là ước lượng trạng thái và cập nhật trạng thái. Bộ lọc Kalman được sử dụng kết hợp với cảm biến IMU trong việc xác định vị trí của đối tượng ngồi trên robot được thực hiện bằng ước lượng các trạng thái của quá trình rời rạc theo thời gian với phương trình ngẫu nhiên tuyến tính, phương trình chuyển trạng thái [10]:

$$x_{k+1} = F_k x_k + G_k u_k + w_k \quad (21)$$

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (22)$$

Trong đó: x_k là giá trị khởi tạo ban đầu cho quá trình tính toán là ; x_{k+1} là vector trạng thái đọc được từ cảm biến IMU tại thời điểm k với ba thành phần là góc nghiêng, vận tốc góc nghiêng và gia tốc góc nghiêng; u_k là vector điều khiển đầu vào (hiệu chỉnh chiều phù hợp của các vector); w_k, v_k là hai vector biến ngẫu nhiên đại diện cho nhiễu hệ thống và nhiễu đo đạc được giả định là tuân theo phân bố Gauss với trung bình là 0 và ma trận hiệp biến lần lượt là Q, R là ma trận chuyển

trạng thái (Hệ số chuyển trạng thái là 1 do hệ thống tính toán giá trị trực tiếp); z_k là thông tin quan sát hay đo lường thực hiện tại thời điểm k ; H_k là ma trận quan sát là 1, F_k là ma trận chuyển trạng thái, G_k là ma trận phân bố nhiễu. Thông số của bộ lọc được xác định như sau:

$$\begin{aligned}
x_{k+1} &= \begin{bmatrix} \theta_k \\ \omega_k \\ a_k \end{bmatrix}; z_k = \theta_k; G_k = 0; \\
H &= [1 \ 0 \ 0]; F = \begin{bmatrix} 1 & \Delta_t & \frac{1}{2} \Delta_t^2 \\ 0 & 1 & \Delta_t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
Q_k &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} .m; R = [n]
\end{aligned}$$

Với Δ_t là chu kỳ lấy mẫu, ma trận F_k được chọn với giả thiết gia tốc góc là không đổi, m, n là các giá trị dương.

Quá trình thực hiện bộ lọc Kalman cho việc xử lý tín hiệu cảm biến IMU trong quá trình điều khiển được thực hiện với việc xác định ước lượng gia tốc góc và giá trị con quay của cảm biến. Bước đầu tiên trong bộ lọc được thực hiện với việc ước lượng trạng thái x_{k+1} là $x_{k+1/k}$ ta có”

$$x_{k+1/k} = F_k x_{k/k} + G_k u_k \quad (23)$$

Hiệp phương sai ước lượng dự đoán:

$$P_{k+1/k} = F_k P_{k/k} F_k^T + Q_k \quad (24)$$

Tiếp theo bộ lọc Kalman sẽ dựa vào giá trị đo được tại thời điểm trước và dựa vào giá trị góc nghiêng ghi hiện tại sẽ hiệu chỉnh giá trị góc nghiêng của ước lượng dự đoán để thu được kết quả ước lượng chính xác. Đây cũng là kết quả giá trị ước lượng của bộ lọc Kalman. Quá trình cập nhật được thực hiện như sau:

$$x_{k+1/k+1} = x_{k+1/k} = K_{k+1}(z_{k+1} - H_{k+1}x_{k+1/k}) \quad (25)$$

Trong đó độ lợi của bộ lọc Kalman được tính như sau:

$$K_{k+1} = P_{k+1/k} H_{k+1}^T (K_{k+1} P_{k+1/k} H_{k+1}^T + R_{k+1})^{-1} \quad (26)$$

Trong đó

$$\begin{bmatrix} P_{k+11k}^{11} & P_{k+11k}^{21} & P_{k+11k}^{31} \\ P_{k+11k}^{21} & P_{k+11k}^{22} & P_{k+11k}^{32} \\ P_{k+11k}^{31} & P_{k+11k}^{23} & P_{k+11k}^{33} \end{bmatrix}$$

Hiệp phương sai ước lượng cập nhật:

$$P_{k+1/k+1} = (I - K_{k+1} H_{k+1}) P_{k+1/k} \quad (27)$$

Trong đó K_{k+1} là độ lợi của mạch lọc Kalman, $x_{k+1/k+1}$ là trạng thái ước lượng điều chỉnh ở thời điểm thứ k+1, $P_{k+1/k+1}$ là hiệp phương sai ước lượng điều chỉnh. I là ma trận đơn vị.

4. Kết quả mô phỏng

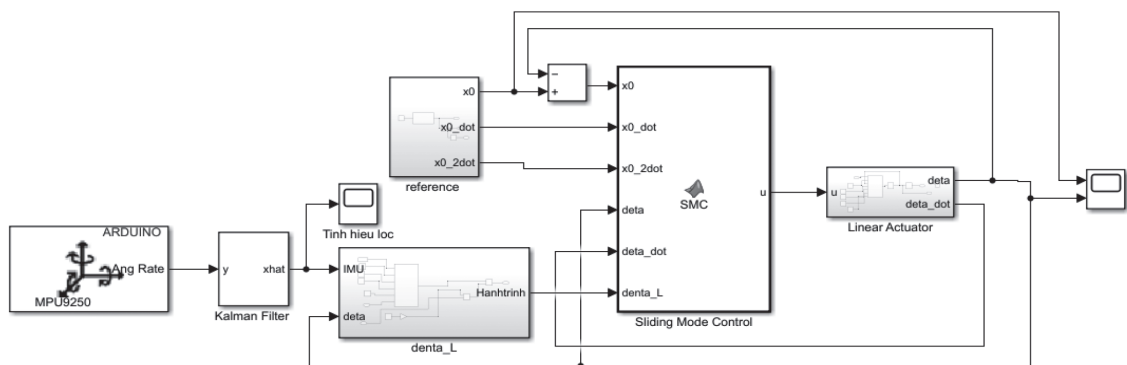
Kết quả mô phỏng được đưa ra với bộ thông số hệ thống sử dụng trong mô phỏng được đưa ra trong bảng sau:

Bảng 1: Các thông số mô phỏng

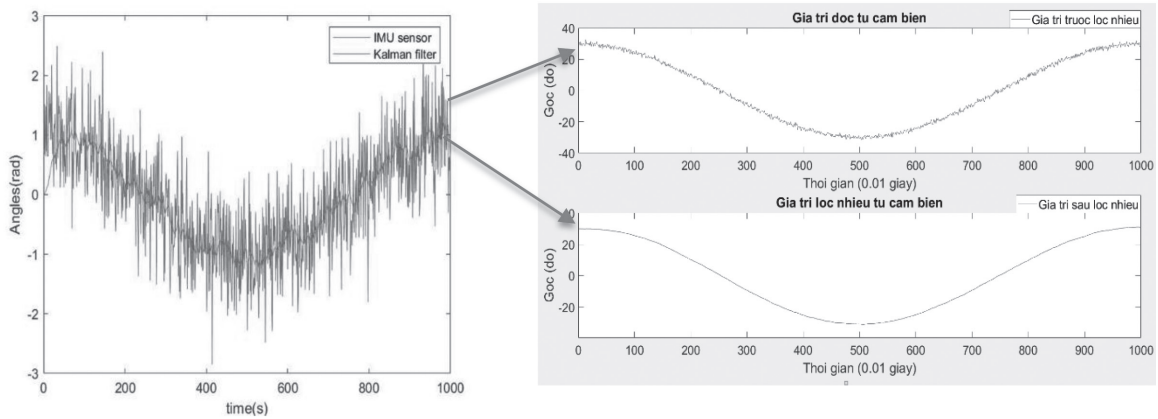
Ký hiệu	Chú giải	Giá trị	Đơn vị
R_m	Điện trở phản ứng	1	Ω
L_m	Điện cảm phản ứng	0.5	H
K_b	Hệ số suất điện động phản ứng	0.01	V/rad/s
b	Hệ số giảm chấn	0.1	Nms
J_m	Moment quán tính rotor	0.01	$kg \cdot m^2$

Ký hiệu	Chú giải	Giá trị	Đơn vị
K_t	Hệ số moment	1.29	Nm/A
f_b	Hệ số ma sát	0.05	Nm
P	Bước vít	2	mm
n	Tỉ số truyền	2	
η	Hiệu suất	0.8	%
J	Moment quán tính của trục vít	800	$kg \cdot m^2$
L	Khoảng cách hai điểm đặt ghế	800	mm
L_0	Hành trình ban đầu xi lanh điện	300	mm
L_2	Khoảng cách trục quay và đầu xi lanh điện	400	mm
L_p	Chiều rộng ghế ngồi	400	mm
F_l	Lực tải	1000	N
K	Hằng số dương	2	
λ_1, λ_2	Hệ số trong mặt trượt	$\lambda_1 = 6000,$ $\lambda_2 = 5.$	

Mô hình hệ thống được thiết kế với bộ lọc Kalman lọc tín hiệu từ cảm biến IMU 9250 để xác định góc thay đổi từ đó tính quãng đường cần di chuyển của xi lanh điện, thông qua bộ điều khiển trượt điều khiển cơ cấu chấp hành là xi lanh điện thực hiện điều khiển vị trí của người ngồi. Sơ đồ mô phỏng hệ thống điều khiển vị trí người ngồi trên robot vận chuyển người được xây dựng như hình 5.

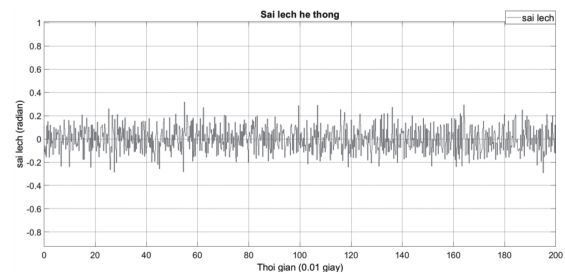


Hình 5: Sơ đồ mô phỏng matlab Simulink



Hình 6: Tín hiệu cảm biến góc nghiêng được lọc bằng bộ lọc Kalman

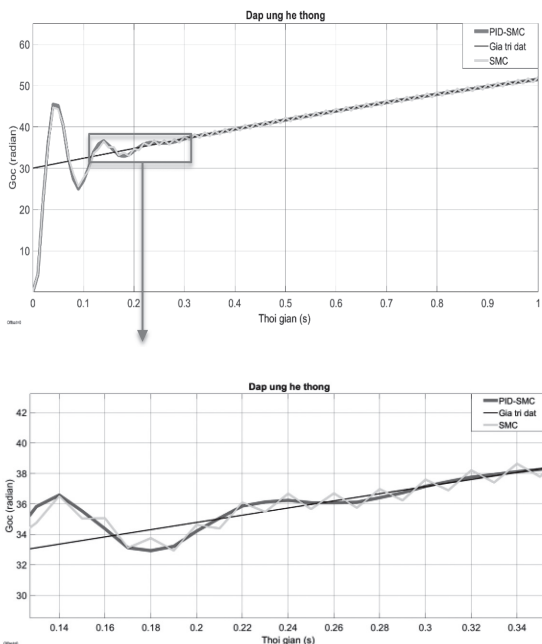
Hình 6 mô tả kết quả sử dụng bộ lọc kalman cho tín hiệu cảm biến IMU 9250, có thể thấy tín hiệu sau khi lọc bám theo giá trị đọc từ cảm biến, đồng thời tín hiệu ít bị nhiễu hơn so với chưa lọc. Hình 7 cho thấy tín hiệu điều khiển được thực hiện thông qua bộ điều khiển trượt PID cho kết quả tốt hơn bộ điều khiển trượt thông thường khi chỉ sử dụng hàm sign, kết quả điều khiển đáp ứng khá tốt cho hệ thống. Hình 8 cho thấy giá trị hệ thống sai lệch của đáp ứng nằm trong khoảng ± 0.2 (rad).



Hình 8: Giá trị sai lệch

5. Kết luận

Trong bài báo này nhóm đã thực hiện việc mô hình hóa hệ thống cân bằng vị trí ghế ngồi trên robot vận chuyển người, thực hiện xây dựng bộ lọc Kalman để lọc tín hiệu đo từ cảm biến IMU. Hoạt động điều khiển vị trí được thực hiện có hiệu quả bởi bộ điều khiển trượt PID được xây dựng trên hệ thống điều khiển vị trí người dùng bằng cơ cấu chấp hành tuyến tính, thời gian xác lập khoảng 3s, tín hiệu cảm biến đầu vào được xử lý giảm hiện tượng nhiễu đáng kể. Đáp ứng vị trí của hệ thống so với giá trị đặt đã đạt yêu cầu tuy nhiên vẫn còn một số sai lệch. Để kết quả điều khiển được tối ưu hơn, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục xây dựng các bộ điều khiển thích nghi với sự thay đổi của tải trọng và sự thay đổi đột ngột của môi trường. Đây là cơ sở để nhóm thực hiện chế tạo robot vận chuyển người chuyên dụng dùng trong việc di chuyển của những người có vấn đề về đi lại giúp họ có thể hòa nhập với cuộc sống cộng đồng.



Hình 7: Kết quả mô phỏng tín hiệu đặt và đầu ra hệ thống điều khiển

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. ASNAKE, "Control of stair climbing wheelchair using fuzzy sliding mode controller," ADDIS ABABA SCIENCE AND TECHNOLOGY UNIVERSITY, 2020.
- [2] Jesse Leaman, and 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Yangmin, "Adaptive Sliding Mode Control with perturbation estimation and PID liding surface for tracking of a piezo-driven micromaniulator," vol. 18, no. 4, pp. 798-810, 2010.
- [6] A. H. D. N. V. T. Singhal, "State estimation and error analysis of a single state dynamic system with sensor data using Kalman Filter," *International Journal of Information and Electronics Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 399-402, 2013.
- [7] Daisuke Endo, Atsushi Watanabe, and Keiji Nagatani, "Stair Climbing Control for 4-DOF Tracked Vehicle Based on Internal Sensors," *Hindawi journal of Robotics*, vol. 2017, 2017.
- [8] 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.
- [9] N.M. Abdul Ghani, M.O. Tokhi, "Simulation and control of multipurpose wheelchair for disabled/elderly mobility," *Integrated Computer-Aided Engineering*, Vols. DOI 10.3233/ICA-160526, pp. 331-347, 2012.
- [10] Salmiah Ahmad· Nazmul H. Siddique·M. Osman Tokhi, "A Modular Fuzzy Control Approach for Two-Wheeled Wheelchair," *J Intell Robot Syst*(2011), pp. 41-426, 2011.