

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ



**BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN GIỮA KỲ**  
**HỆ THỐNG ROBOT THÔNG MINH**  
**ELT3077\_20**

Giảng viên bộ môn: Phùng Mạnh Dương

Nhóm 6

Vũ Thị Hồng Nhung	19021498
Lương Thị Thùy Giang	19021444
Trần Minh Đức	19021437

## Mục lục

I. PHẦN GIỚI THIỆU .....	5
1. Đặt vấn đề .....	5
2. Bố cục báo cáo .....	6
II. MÔ PHỎNG ĐỘNG HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA ROBOT .....	7
1. Phương trình động học của cả hai kiểu robot .....	7
1.1. Kiểu thứ nhất .....	8
1.2. Kiểu thứ hai .....	9
2. Biểu diễn mô hình động học và mô phỏng chuyển động của robot .....	11
2.1. Vận tốc và góc lái cố định .....	11
2.2. Vận tốc cố định nhưng có góc lái thay đổi tuyến tính .....	14
2.3. Vận tốc và góc lái thay đổi tuyến tính .....	17
3. Thiết kế các bộ điều khiển cho robot .....	20
3.1. Bộ điều khiển vòng hở điều kiện lý tưởng .....	20
3.2. Bộ điều khiển vòng hở kể điều kiện có nhiễu .....	24
3.3. Bộ điều khiển vòng kín .....	26
III. ĐỊNH VỊ SỬ DỤNG BỘ LỌC KALMAN MỞ RỘNG .....	28
1. Phương trình động học và phương trình các phép đo của robot trong miền thời gian rời rạc .....	28
2. Phương trình tính tư thế (vị trí và hướng) của robot sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng .....	30
3. Chương trình MATLAB để ước lượng vị trí và hướng của robot sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng .....	34

## Mục lục hình

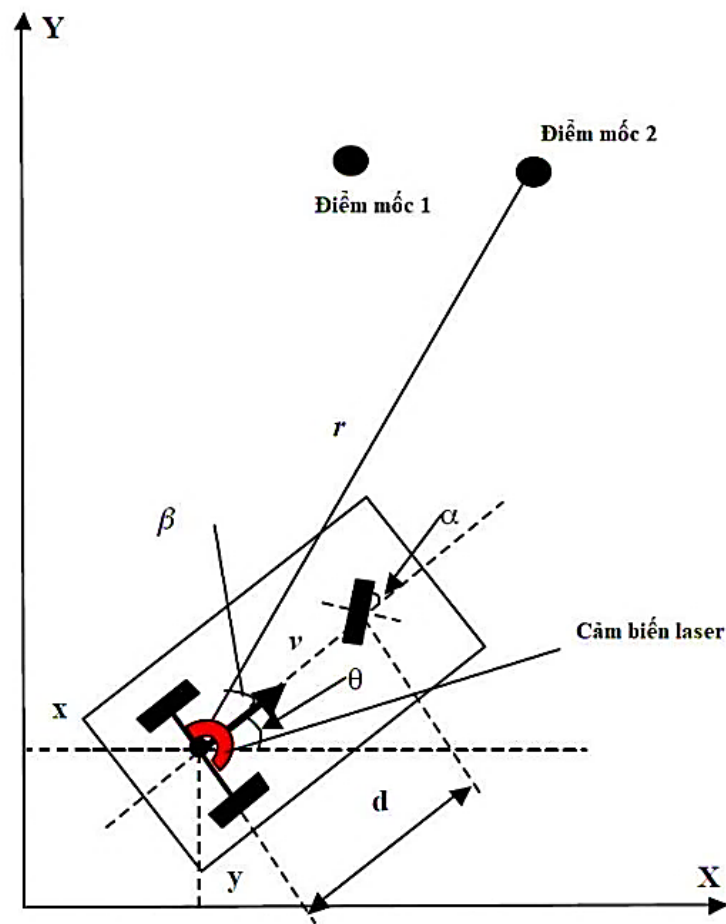
<b>Hình 1</b> Robot kiểu 3 bánh được trang bị cảm biến laser trong môi trường có các điểm mốc. ....	5
<b>Hình 1. 1</b> Điều khiển robot 3 bánh kiểu thứ nhất .....	8
<b>Hình 1. 2</b> Điều khiển robot 3 bánh kiểu thứ hai .....	10
<b>Hình 2. 1</b> Điều khiển robot 3 bánh kiểu thứ nhất .....	8
<b>Hình 2. 2</b> Điều khiển robot 3 bánh kiểu thứ hai .....	10
<b>Hình 2. 3</b> Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 1 trong trường hợp vận tốc và góc lái cố định .....	12
<b>Hình 2. 4</b> Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 2 trong trường hợp vận tốc và góc lái cố định .....	12
<b>Hình 2. 5</b> Quỹ đạo chuyển động của hai kiểu robot trong trường hợp vận tốc và góc lái cố định .....	13
<b>Hình 2. 6</b> Vị trí robot theo hai kiểu trong trường hợp vận tốc và góc lái cố định .....	13
<b>Hình 2. 7</b> Tín hiệu điều khiển của robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	14
<b>Hình 2. 8</b> Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 1 trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	15
<b>Hình 2. 9</b> Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 2 trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	15
<b>Hình 2. 10</b> Quỹ đạo chuyển động của hai kiểu robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	16
<b>Hình 2. 11</b> Vị trí robot theo hai kiểu trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	16
<b>Hình 2. 12</b> Tín hiệu điều khiển của robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	17
<b>Hình 2. 13</b> Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 1 trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	18
<b>Hình 2. 14</b> Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 2 trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	18
<b>Hình 2. 15</b> Quỹ đạo chuyển động của hai kiểu robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	19
<b>Hình 2. 16</b> Quỹ đạo chuyển động của hai kiểu robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính .....	19
<b>Hình 2. 17</b> Quỹ đạo robot cần bám theo.....	20
<b>Hình 2. 18</b> Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng hở trong điều kiện lý tưởng .....	22
<b>Hình 2. 19</b> Tín hiệu điều khiển và trạng thái đầu ra của robot trong điều kiện lý tưởng .....	23
<b>Hình 2. 20</b> Quỹ đạo chuyển động của robot dựa trên bộ điều khiển vòng hở trong điều kiện lý tưởng ....	23
<b>Hình 2. 21</b> Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng hở trong điều kiện có nhiễu. ....	24
<b>Hình 2. 22</b> Tín hiệu điều khiển và trạng thái đầu ra của robot trong điều kiện có nhiễu .....	25
<b>Hình 2. 23</b> Quỹ đạo chuyển động của robot dựa trên bộ điều khiển vòng hở trong điều kiện có nhiễu ....	25
<b>Hình 2. 24</b> Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng kín của robot trong điều kiện không nhiễu.....	26
<b>Hình 2. 25</b> Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng kín của robot trong điều kiện có nhiễu. ....	26
<b>Hình 2. 26</b> Quỹ đạo chuyển động của robot dựa trên bộ điều khiển vòng kín áp dụng thuật toán Pure Pursuit .....	27
<b>Hình 2. 27</b> Trạng thái đầu ra của robot dựa trên bộ điều khiển vòng kín trong điều kiện có nhiễu .....	27

<b>Hình 3. 1</b> Vị trí của robot và hai điểm mốc .....	29
<b>Hình 3. 2</b> So sánh đường đi dự đoán, đường đi thực sự và đường đi dựa trên bộ lọc Kalman mở rộng của robot .....	34
<b>Hình 3. 3</b> So sánh lỗi trong trạng thái X giữa dự đoán và sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng .....	35
<b>Hình 3. 4</b> So sánh lỗi trong trạng thái Y giữa dự đoán và sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng .....	35
<b>Hình 3. 5</b> So sánh lỗi trong trạng thái $\theta$ giữa dự đoán và sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng .....	36

# I. PHẦN GIỚI THIỆU

## 1. Đặt vấn đề

Cho một robot kiểu 3 bánh như trong hình 1. Thông thường, có hai kiểu điều khiển robot này. Kiểu thứ nhất sử dụng bánh trước để đồng thời điều hướng và điều khiển tốc độ. Kiểu thứ hai sử dụng bánh trước để điều hướng còn bánh sau để điều khiển tốc độ. Biết chiều dài trục cơ sở là  $d = \sqrt{2,5 + 0,1G}$ , với  $G = 6$ .



**Hình 1** Robot kiểu 3 bánh được trang bị cảm biến laser trong môi trường có các điểm mốc.

## **2. Bố cục báo cáo**

Bài báo cáo gồm 3 phần:

### **I. Phần giới thiệu.**

Giới thiệu khái quát về Robot ba bánh, mô hình hoạt động và vấn đề cơ bản trong điều khiển và định vị của robot.

### **II. Mô phỏng hoạt động và điều khiển chuyển động của robot.**

Biểu diễn mô hình hoạt động của robot và các phương pháp điều khiển mô hình này. Bên cạnh đó, trong phần này cũng trình bày mô phỏng trong MATLAB Simulink. Ngoài ra, còn trình bày bộ điều khiển vòng kín trong điều khiển robot chuyển động theo quỹ đạo cho trước trong điều kiện lý tưởng và điều kiện có nhiễu.

### **III. Định vị sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng.**

Trình bày về bộ lọc Kalman mở rộng áp dụng cho robot ba bánh. Bên cạnh đó, trình bày kết quả mô phỏng để chứng minh hiệu quả của việc áp dụng bộ lọc Kalman.

## II. MÔ PHỎNG ĐỘNG HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA ROBOT

Trong phần này, trình bày về Robot ba bánh và điều khiển chuyển động của Robot. Bên cạnh đó, còn biểu diễn mô hình động học và mô phỏng bằng MATLAB Simulink. Mô hình Robot ba bánh thông thường có một bánh trước và hai bánh sau.

### 1. Phương trình động học của cả hai kiểu robot

Giả sử vị trí của Robot được biểu diễn như sau  $\begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}$ , trong đó  $x, y$  biểu diễn

điểm tâm của robot và  $\theta$  là hướng của robot được thể hiện qua trục  $X$  và trục cơ sở  $d$  của robot. Tín hiệu đầu vào điều khiển bao gồm vận tốc dài  $V$  của bánh xe và góc lái  $\alpha$ . Theo lý thuyết thì vị trí của Robot có thể được biểu diễn trong hai hệ trục tọa độ, hệ toàn cục là  $(X_I, Y_I)$  và hệ cục bộ là  $(X_R, Y_R)$ . Và luôn có mối quan hệ được biểu diễn như sau:

$$\dot{\xi}_I = Q(z, \theta) \cdot \dot{\xi}_R \quad (2.1)$$

Trong đó

$\dot{\xi}_I$ : Vị trí của Robot theo hệ toàn cục  $(X_I, Y_I)$

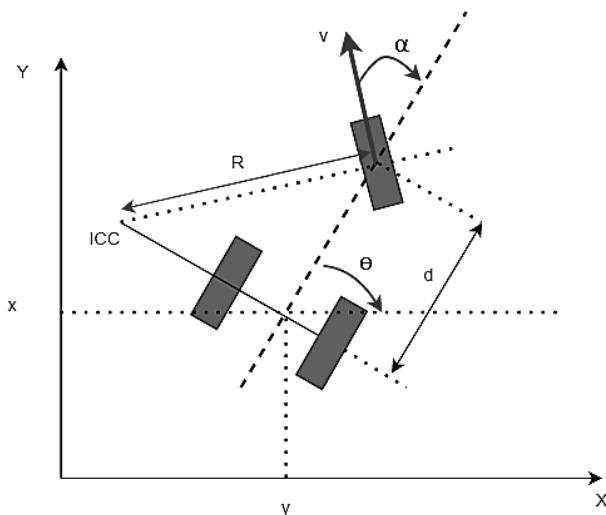
$\dot{\xi}_R$ : Vị trí của Robot theo hệ cục bộ  $(X_R, Y_R)$

$Q(z, \theta)$ : Ma trận xoay quanh trục  $z$  biểu thị mối liên hệ giữa hệ tọa độ Robot và hệ tọa độ cố định

$$Q(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

### 1.1. Kiểu thứ nhất

Kiểu thứ nhất là sử dụng bánh trước vừa để điều khiển hướng vừa điều khiển tốc độ. Mô hình động học của kiểu thứ nhất được mô tả trong hình 2.1:



**Hình 2. 1** Điều khiển robot 3 bánh kiểu thứ nhất

Ta có vận tốc dài của robot theo phương  $x$  được chiếu xuống trục  $X_R$  của robot. Do xe không bị trượt ngang theo phương  $Y_R$  nên vận tốc dài theo phương  $y$  sẽ bằng 0. Đối với thành phần vận tốc góc ta áp dụng theo công thức

$$w = \frac{V}{R} \quad (2.3)$$

Trong đó  $w$ ,  $V$ ,  $R$  lần lượt là vận tốc góc, vận tốc dài và bán kính chuyển động của robot. Và

$$R = \frac{d}{\sin \alpha} \quad (2.4)$$

Từ (2.3) và (2.4) ta có vận tốc góc của robot trong kiểu thứ nhất như sau:



$$w = \frac{V \sin \alpha}{d} \quad (2.5)$$

Từ đây, xét trong hệ tọa độ của Robot, ta có:

$$\dot{\xi}_R = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \cdot \cos \alpha \\ 0 \\ \frac{V \cdot \sin \alpha}{d} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Áp dụng công thức (2.1) và kết hợp cùng phương trình (2.2), (2.6) thu được

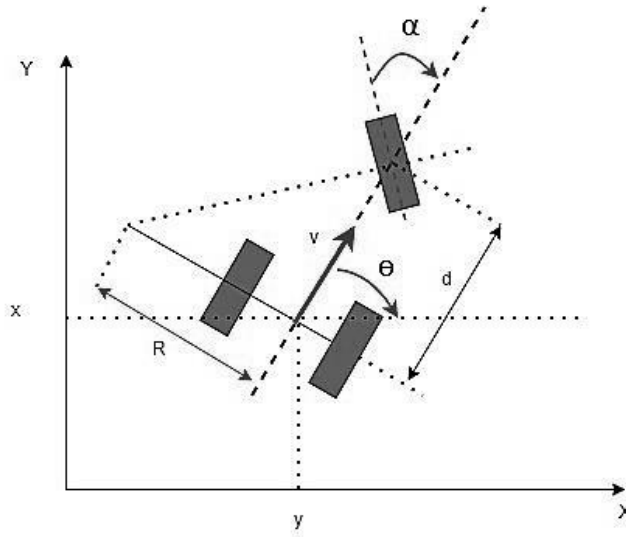
$$\rightarrow \dot{\xi}_I = Q(z, \theta) \cdot \dot{\xi}_R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \cdot \cos \alpha \\ 0 \\ V \cdot \frac{\sin \alpha}{d} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Vậy phương trình động học của robot kiểu thứ nhất được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha \\ \dot{y} &= V \cdot \sin \theta \cdot \cos \alpha \\ \dot{\theta} &= \frac{V \cdot \sin \alpha}{d} \end{aligned} \quad (2.8)$$

## 1.2. Kiểu thứ hai

Kiểu thứ hai là sử dụng bánh trước điều khiển hướng và bánh sau điều khiển tốc độ. Mô hình động học của kiểu thứ hai được mô tả trong hình 2.2



**Hình 2. 2** Điều khiển robot 3 bánh kiểu thứ hai

Bán kính chuyển động của robot trong kiểu thứ hai là

$$R = \frac{d}{\tan \alpha} \quad (2.9)$$

Từ (2.3) và (2.9) ta có vận tốc góc của robot trong kiểu thứ hai như sau:

$$\omega = \frac{V \tan \alpha}{d} \quad (2.10)$$

Từ đây xét trong hệ tọa độ của Robot, ta có:

$$\dot{\xi}_R = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \\ 0 \\ \frac{V \cdot \tan \alpha}{d} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Áp dụng công thức (2.1) kết hợp cùng phương trình (2.2) và (2.11) ta có

$$\dot{\xi}_I = Q(z, \theta) \cdot \dot{\xi}_R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ 0 \\ \frac{V \tan \alpha}{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \cos \theta \\ V \sin \theta \\ \frac{V}{d} \tan \alpha \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Vậy phương trình động học của robot kiểu thứ hai được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cos \theta \\ \dot{y} &= V \sin \theta \\ \dot{\theta} &= \frac{V}{d} \tan \alpha \end{aligned} \quad (2.13)$$

## 2. Biểu diễn mô hình động học và mô phỏng chuyển động của robot

Trong phần này, robot ba bánh có ràng buộc như sau:

$$\begin{aligned} -1.68m/s &\leq V \leq 1.68m/s \\ -\frac{\pi}{4} &\leq \alpha \leq \frac{\pi}{4} \\ -0.26m/s^2 &\leq a \leq 0.26m/s^2 \\ -0.3rad/s &\leq v_\alpha \leq 0.3rad/s \end{aligned} \quad (2.14)$$

Trong đó:  $V, \alpha, a$  và  $v_\alpha$  lần lượt là vận tốc bánh xe, góc lái, gia tốc và vận tốc góc lái của robot.

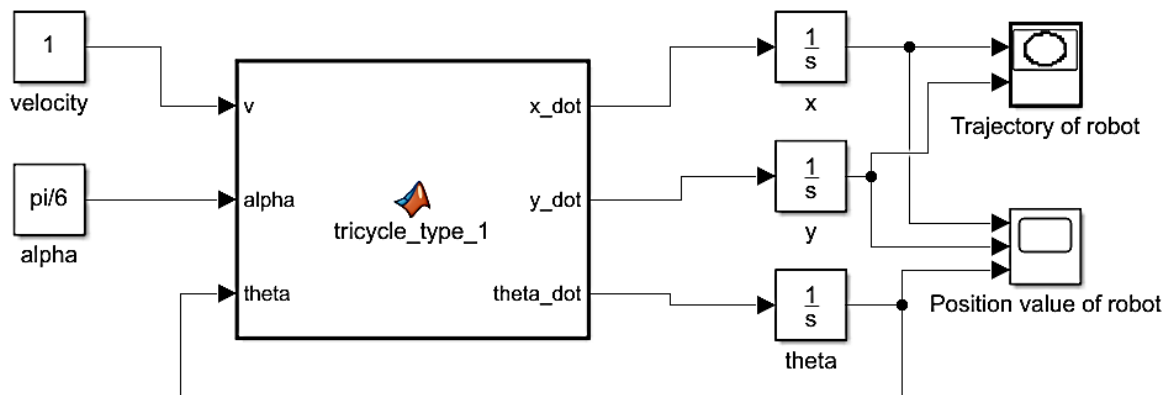
### 2.1. Vận tốc và góc lái cố định.

Thực hiện mô phỏng cho 2 kiểu robot, trong phần này ta đặt cố định vận tốc bánh xe và góc lái như sau:

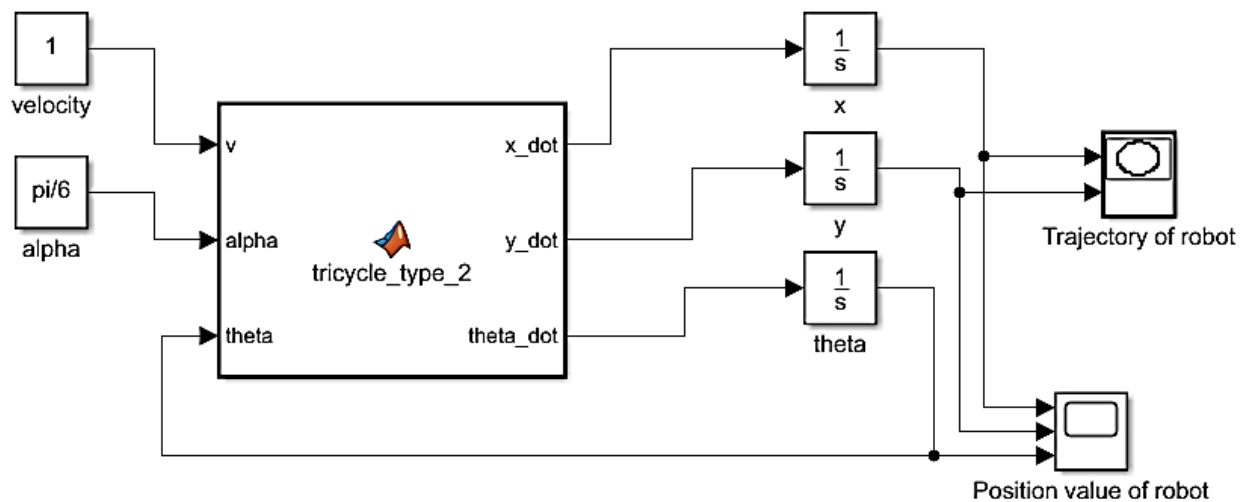
$$\begin{aligned} v &= 1m/s \\ \alpha &= \frac{\pi}{6} rad \end{aligned} \quad (2.15)$$

Báo cáo sử dụng MATLAB Simulink để biểu diễn mô hình động học của robot và thực hiện mô phỏng hoạt động của cả hai loại robot.

Sơ đồ mô phỏng với hai kiểu robot trong trường hợp này được thể hiện trong hình 2.3 hình 2.4 như sau:

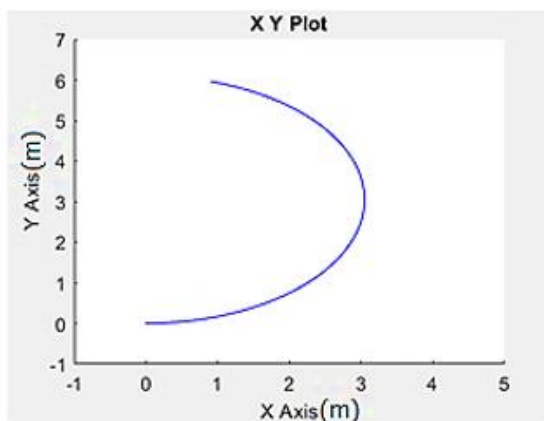


**Hình 2. 3** Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 1 trong trường hợp vận tốc và góc lái cố định

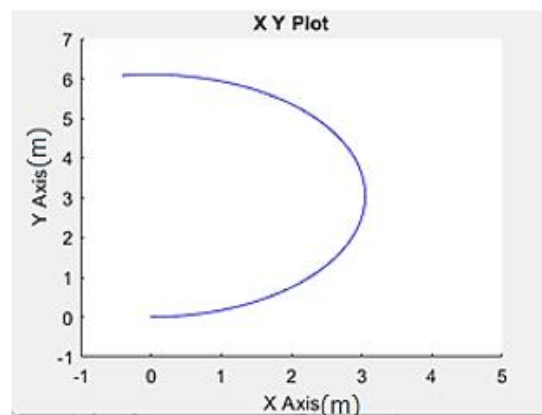


**Hình 2. 4** Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 2 trong trường hợp vận tốc và góc lái cố định

Kết quả mô phỏng của hai loại robot trong điều khiển vận tốc và góc lái cố định được thể hiện trong hình 2.5 và hình 2.6

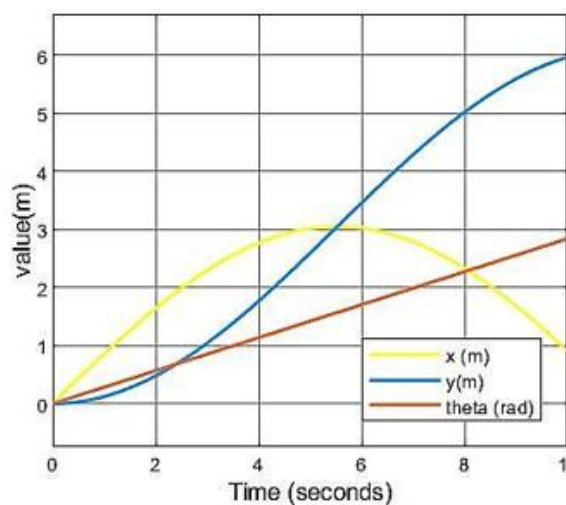


(a) Kiểu thứ nhất

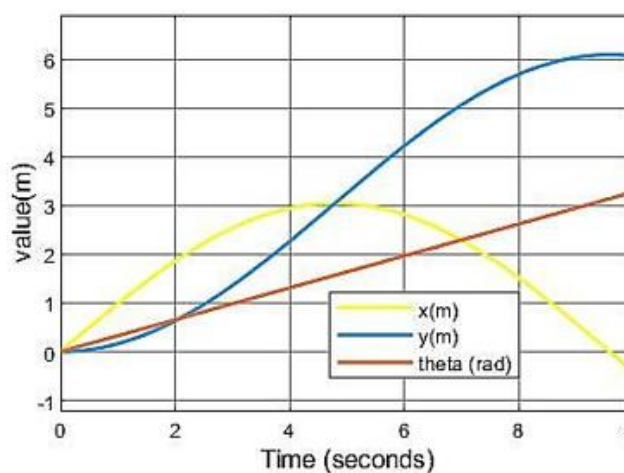


(b) Kiểu thứ hai

**Hình 2. 5** Quỹ đạo chuyển động của hai kiểu robot trong trường hợp vận tốc và góc lái cố định



(a) Kiểu thứ nhất



(b) Kiểu thứ hai

**Hình 2. 6** Vị trí robot theo hai kiểu trong trường hợp vận tốc và góc lái cố định

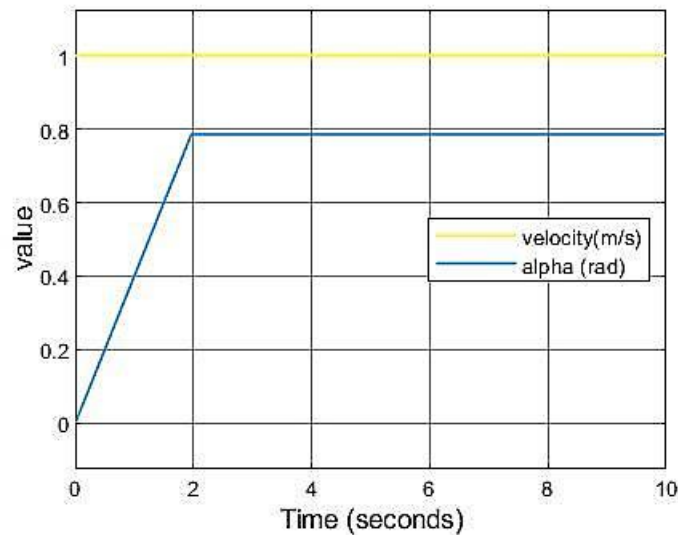
Theo hình 2.5 và 2.6, chúng ta có thể thấy đường đi của robot theo kiểu thứ hai di chuyển được nhanh hơn kiểu thứ nhất.

## 2.2. Vận tốc cố định nhưng có góc lái thay đổi tuyến tính.

Thực hiện mô phỏng cho 2 kiểu robot, trong phần này ta đặt cố định vận tốc bánh xe và góc lái thay đổi tuyến tính theo thời gian như sau:

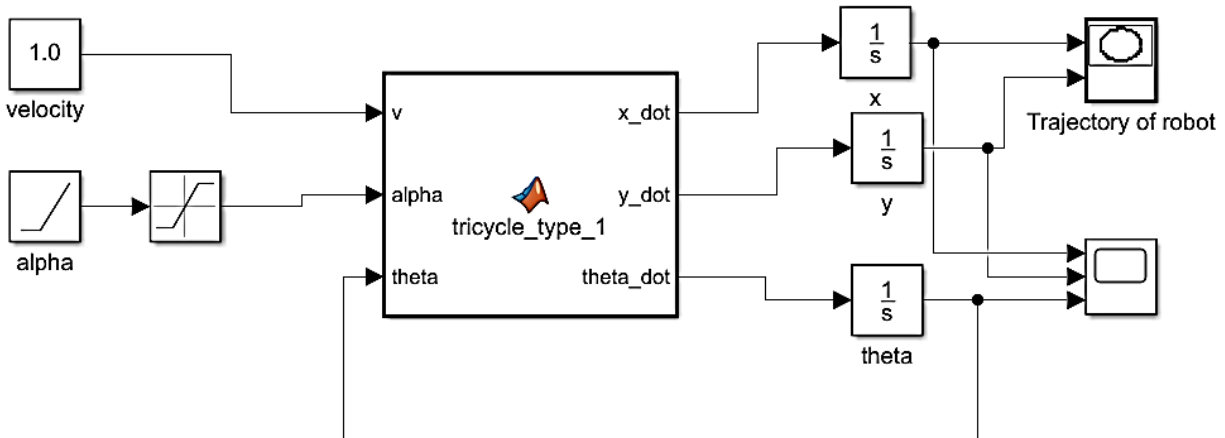
$$\begin{aligned}v &= 1\text{ m/s} \\ \alpha &= 0.4t\text{ rad}\end{aligned}\quad (2.16)$$

Từ đây, ta có hình 2.7 biểu diễn tín hiệu điều khiển đầu vào được mô tả như dưới đây. Góc lái thay đổi tuyến tính theo thời gian nhưng luôn bị giới hạn bởi giá trị góc lái cực đại trong biểu thức (2.14).

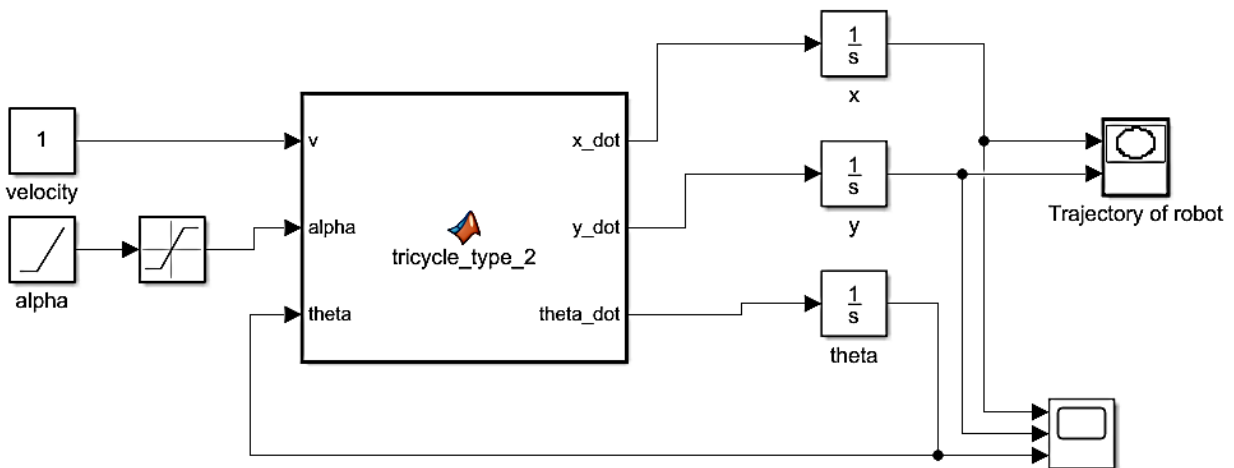


**Hình 2. 7** Tín hiệu điều khiển của robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính

Sơ đồ mô phỏng với hai kiểu robot trong trường hợp này được thể hiện trong hình 2.6 và hình 2.7 như sau:

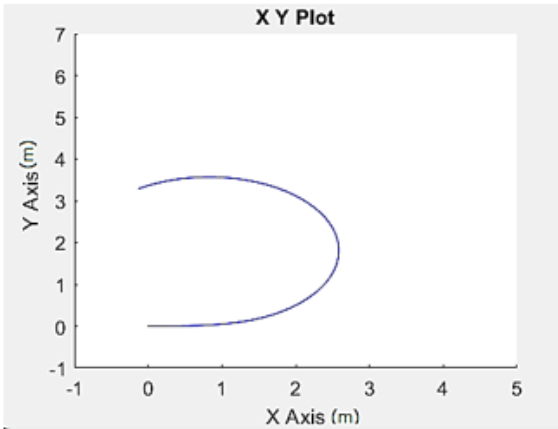


**Hình 2. 8** Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 1 trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính

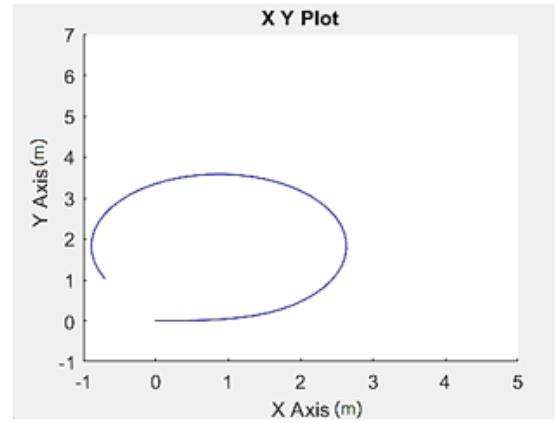


**Hình 2. 9** Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 2 trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính

Kết quả mô phỏng của hai loại robot trong điều khiển vận tốc cố định nhưng góc lái thay đổi tuyến tính theo thời gian được thể hiện trong hình 2.10 và hình 2.11

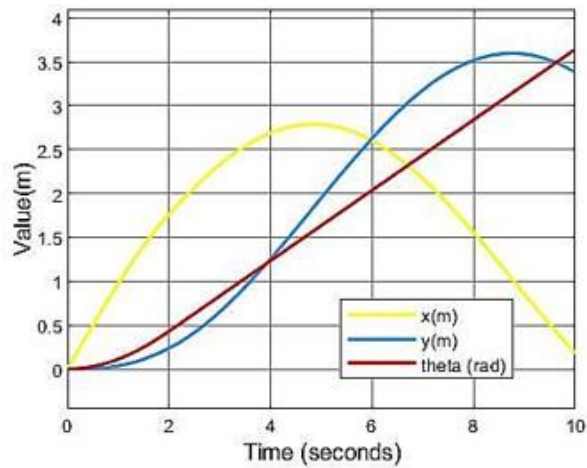


(a) Kiểu thứ nhất

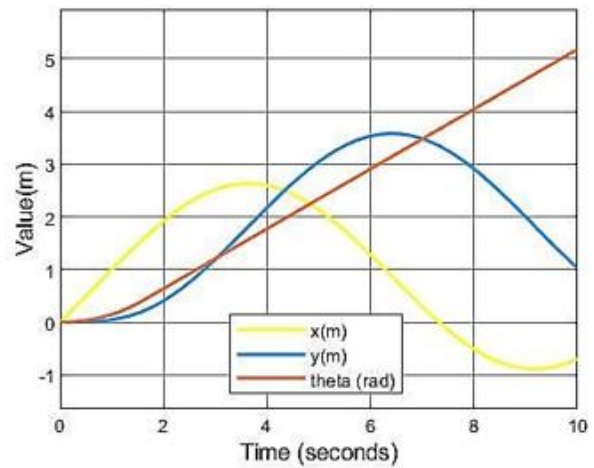


(b) Kiểu thứ hai

**Hình 2. 10** Quỹ đạo chuyển động của hai kiểu robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính



(a) Kiểu thứ nhất



(b) Kiểu thứ hai

**Hình 2. 11** Vị trí robot theo hai kiểu trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính



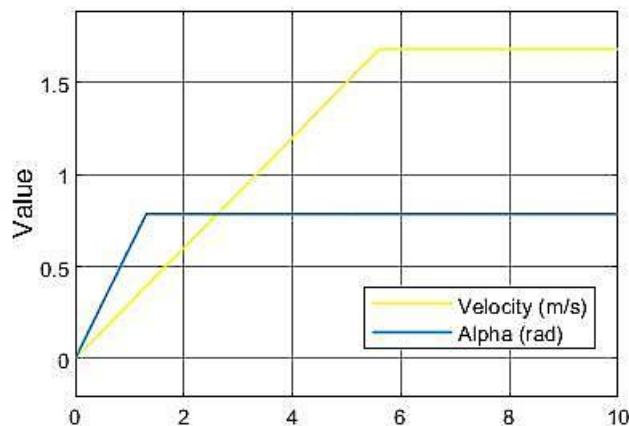
Từ hình 2.10 và hình 2.11, ta thấy cũng giống như trường hợp vận tốc và góc lái cố định ở trên thì trong trường hợp này kiểu điều khiển thứ hai robot luôn đi được nhiều hơn kiểu thứ nhất, mặc dù quỹ đạo của hai kiểu là như nhau.

### 2.3. Vận tốc và góc lái thay đổi tuyến tính

Thực hiện mô phỏng cho 2 kiểu robot, trong phần này ta đặt vận tốc bánh xe và góc lái thay đổi tuyến tính theo thời gian như sau:

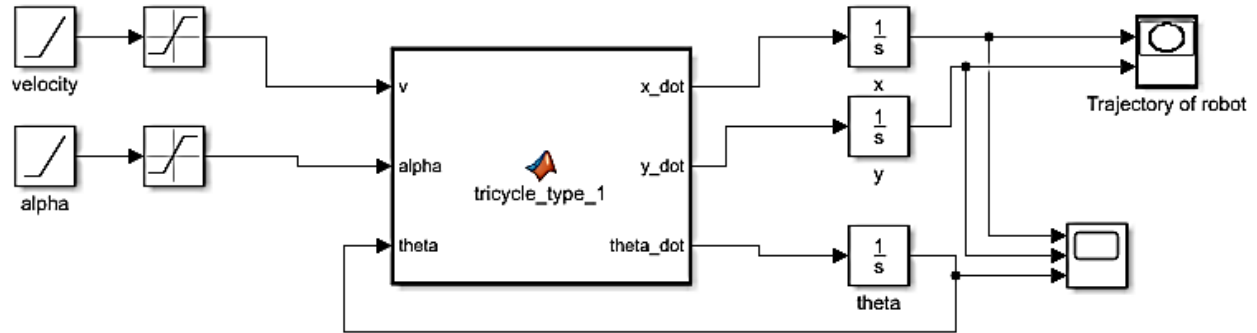
$$\begin{aligned} v &= 0.3t \text{ m/s} \\ \alpha &= 0.5t \text{ rad} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Từ đây, ta có hình 2.12 biểu diễn tín hiệu điều khiển đầu vào được mô tả như dưới đây. Vận tốc và góc lái mặc dù đều thay đổi tuyến tính theo thời gian nhưng luôn bị giới hạn bởi vận tốc và góc lái cực đại trong biểu thức (2.14).

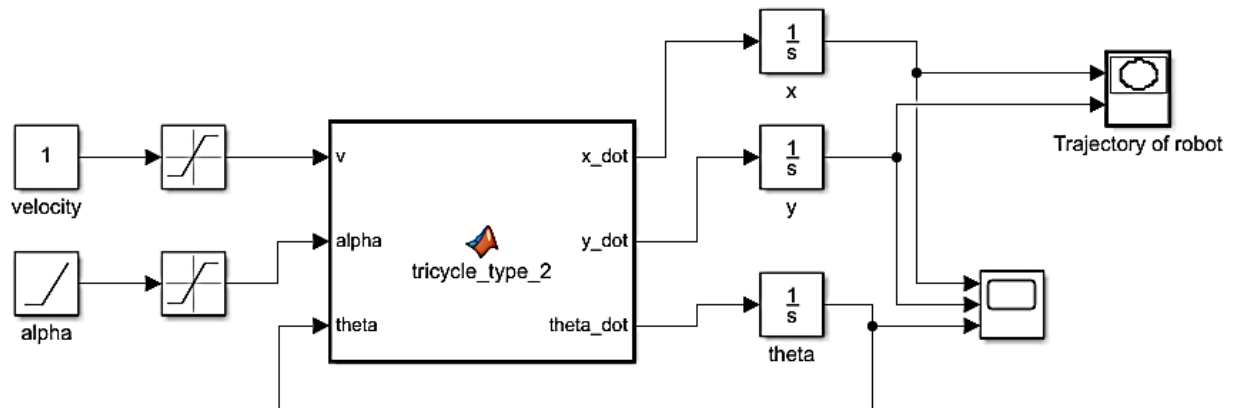


**Hình 2. 12** Tín hiệu điều khiển của robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính

Sơ đồ mô phỏng với hai kiểu robot trong trường hợp này được thể hiện trong hình 2.13 và hình 2.14 như sau:

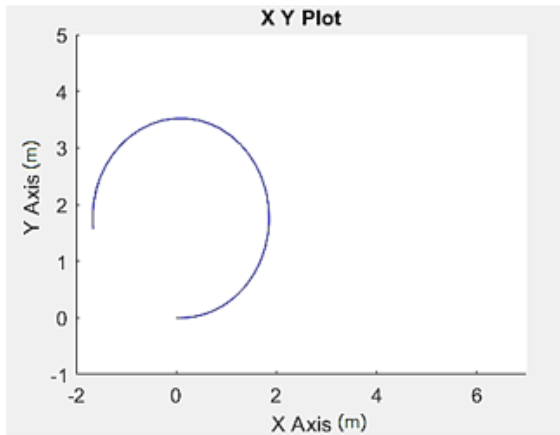


**Hình 2. 13** Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 1 trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính

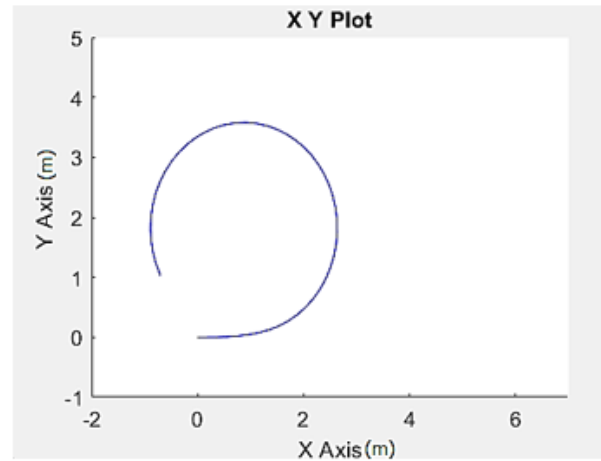


**Hình 2. 14** Sơ đồ mô phỏng robot theo kiểu 2 trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính

Ta thu được kết quả mô phỏng của hai loại robot trong điều khiển vận tốc và góc lái thay đổi tuyến tính theo thời gian được thể hiện trong hình 2.15 và hình 2.16.

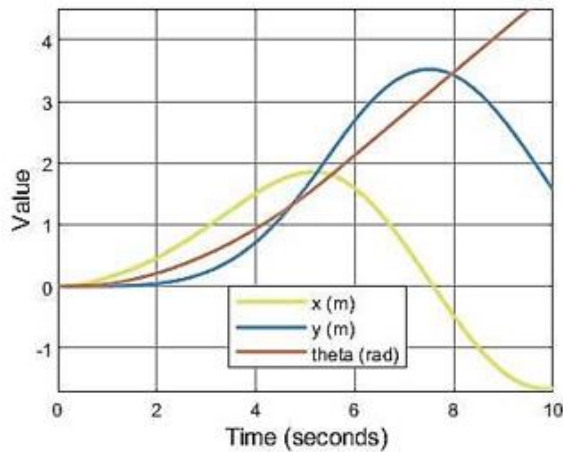


(a) Kiểu thứ nhất

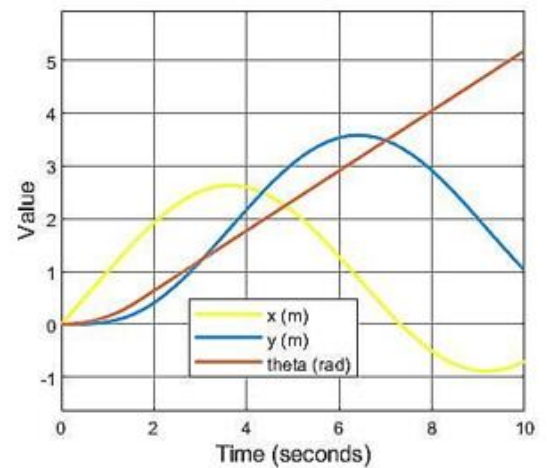


(b) Kiểu thứ hai

**Hình 2. 15** Quỹ đạo chuyển động của hai kiểu robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính



(a) Kiểu thứ nhất



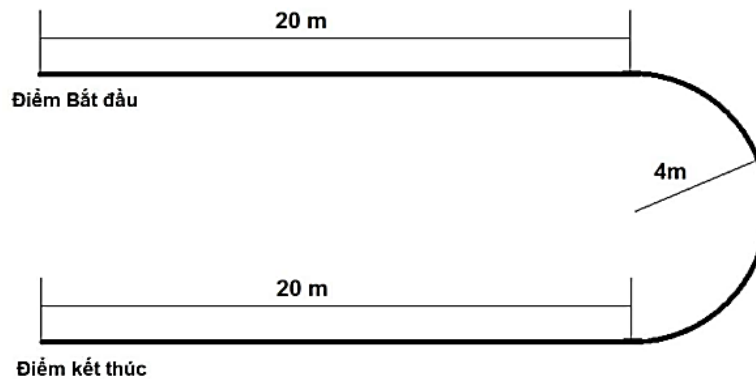
(b) Kiểu thứ hai

**Hình 2. 16** Quỹ đạo chuyển động của hai kiểu robot trong trường hợp vận tốc cố định và góc lái thay đổi tuyến tính

Dựa vào hình 2.15 và hình 2.16, kết luận như hai trường hợp trên, kiểu robot thứ hai luôn đi được quãng đường dài hơn kiểu thứ nhất.

### 3. Thiết kế các bộ điều khiển cho robot

Trong phần này, Robot được yêu cầu bám theo quỹ đạo như trong hình 2.17 dưới đây:



*Hình 2. 17 Quỹ đạo robot cần bám theo*

#### 3.1. Bộ điều khiển vòng hở điều kiện lý tưởng

Để thuận lợi cho việc thiết kế bộ điều khiển vòng hở, ta chia quỹ đạo chuyển động của robot trong hình 2.17 thành 3 phần như sau:

- Phần 1: Từ điểm bắt đầu tọa độ  $(0, 0)$  đến điểm có tọa độ  $(20, 0)$
- Phần 2: Từ điểm tọa độ  $(20, 0)$  đến điểm tọa độ  $(20, -8)$
- Phần 3: Từ điểm  $(20, -8)$  đến điểm kết thúc  $(0, -8)$

Ta thiết kế 3 phần trên tương ứng với các khoảng thời gian khác nhau, cụ thể như sau:

- Từ  $0 - 20s$ : Robot di chuyển bám theo đường thẳng với độ dài là  $20m$ . Từ đây chọn vận tốc vào  $v = 1(m/s)$  và góc lái  $\alpha = 0(rad)$  tương ứng với phần 1.
- Từ  $20s - (20 + \frac{\pi}{0.05})s$ : Robot di chuyển bám theo nửa đường tròn có bán kính  $r = 4(m)$  tương ứng với phần 2. Điều khiển cho xe bám theo cung tròn này, ta cần biết đến công thức :

$$v = r \dot{\theta} \quad (2.18)$$

Trong đó:

$v$  là vận tốc của bánh xe ( $m/s$ )

$r$  là bán kính chuyển động ( $m$ )

$\dot{\theta}$  là vận tốc góc của Robot ( $rad/s$ )

Cụ thể, từ hình 2.17 ta có  $r = 4m$ , ta chọn  $v = 0.2 m/s$  thì khi đó  $\dot{\theta} = 0.05 rad/s$ . Do nửa đường tròn chính là một cung tròn có góc là  $\pi (rad)$  nên thời gian để robot đi hết nửa đường tròn này là  $\frac{\pi}{0.05}s$ .

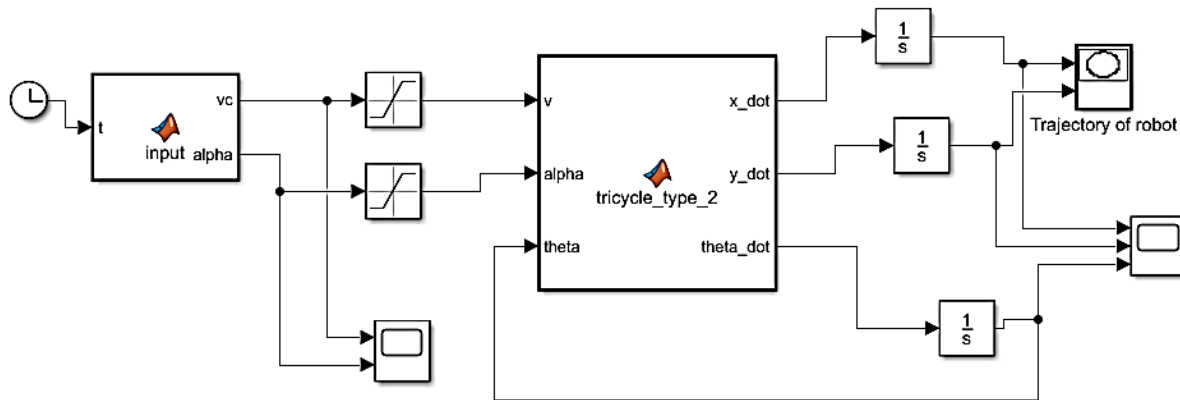
Theo phương trình động học ở công thức (2.13), ta có

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\dot{\theta}d}{v}\right) \quad (2.19)$$

Trong đó,  $d$  là độ dài trục cơ sở  $\approx 1.76m$ , nên tính được góc lái  $\alpha = -0.415(rad)$ .

- Từ  $(20 + \frac{\pi}{0.05})s$  đến  $(40 + \frac{\pi}{0.05})s$  : Robot bám theo đường thẳng có độ dài là 20m tương ứng với phần 3. Ta chọn vận  $v = 1(m/s)$  và góc lái  $\alpha = 0 (rad)$  và thời gian cần đi là 20s.

Vậy tổng thời gian để robot đi theo quỹ đạo như yêu cầu là  $40 + \frac{\pi}{0.05} \approx 102.83s$ . Hình 2.18 mô tả sơ đồ mô phỏng bằng MATLAB Simulink cho bộ điều khiển vòng hở để robot bám theo quỹ đạo trong điều kiện lý tưởng như sau:

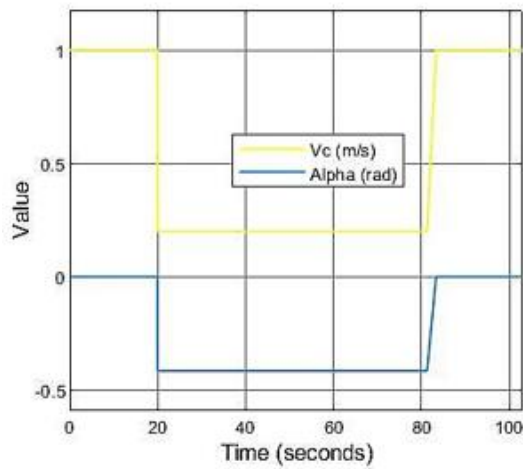


**Hình 2. 18** Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng hở trong điều kiện lý tưởng

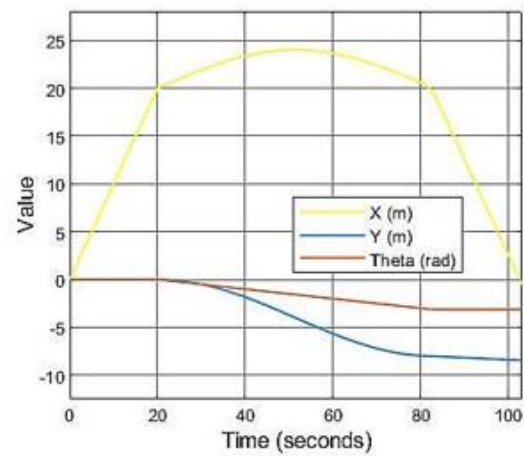
Trong đó, khối hàm input được xây dựng dựa trên ý tưởng chia quỹ đạo chuyển động thành 3 phần ở trên và khối hàm tricycle\_type\_2 mô tả phương trình động học của robot điều khiển theo kiểu thứ 2.

Hình 2.19 lần lượt mô tả các tín hiệu điều khiển ( $v, \alpha$ ) và trạng thái đầu ra ( $x, y, \theta$ ). Và quỹ đạo chuyển động của robot trong trường hợp này được mô tả ở hình 2.20.

So sánh hình 2.19b và hình 2.20 ta có thể thấy quỹ đạo robot đi được là trùng với đường đi trong yêu cầu ban đầu. Kết quả mô phỏng trong phần này là hợp lý bởi ta đang mô phỏng trong điều kiện lý tưởng, không có nhiễu.

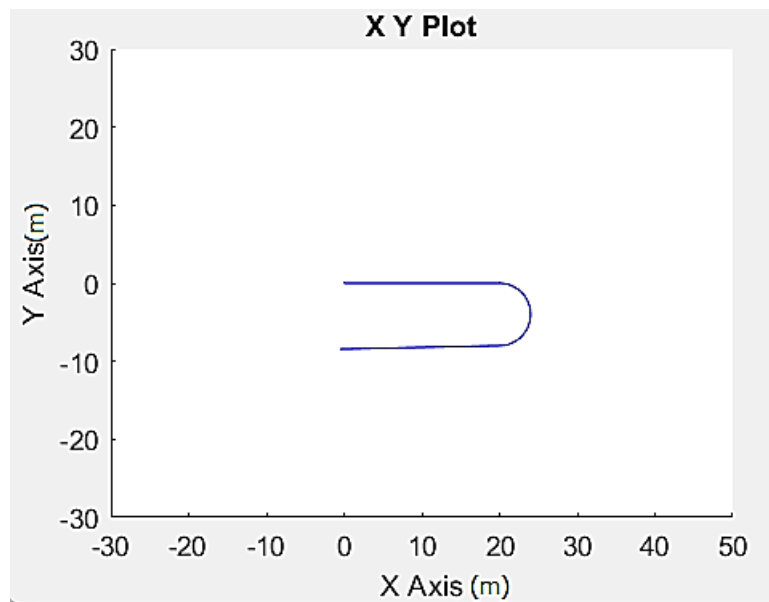


(a) Tín hiệu điều khiển



(b) Trạng thái đầu ra

**Hình 2. 19** Tín hiệu điều khiển và trạng thái đầu ra của robot trong điều kiện lý tưởng

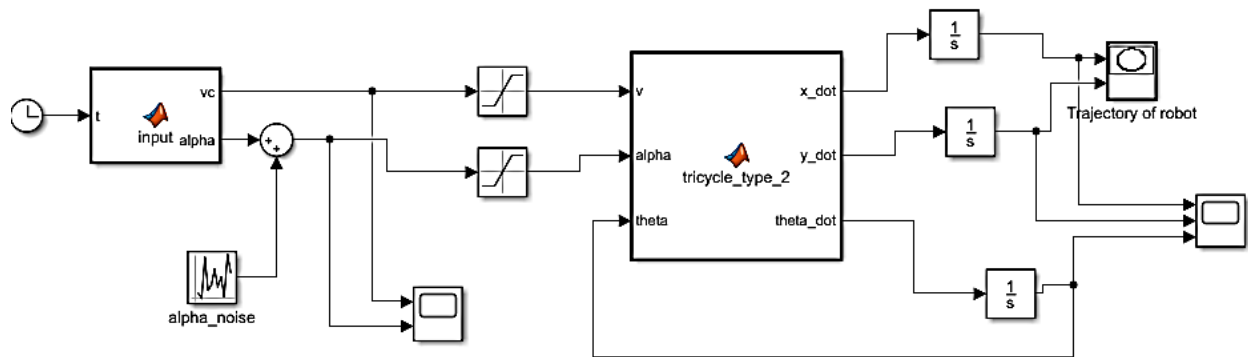


**Hình 2. 20** Quỹ đạo chuyển động của robot dựa trên bộ điều khiển vòng hở trong điều kiện lý tưởng

### 3.2. Bộ điều khiển vòng hở kể điều kiện có nhiễu

Trong phần này, cần thiết kế bộ điều khiển robot bám theo quỹ đạo ở hình 2.17 nhưng với điều kiện góc lái bị nhiễu với độ lệch bằng  $5^0$ .

Ta áp dụng bộ điều khiển vòng hở như hình 2.18 đồng thời thêm nhiễu ở góc lái  $\alpha$ . Hình 2.21 mô tả sơ đồ mô phỏng bằng MATLAB Simulink của trường hợp có nhiễu như sau:

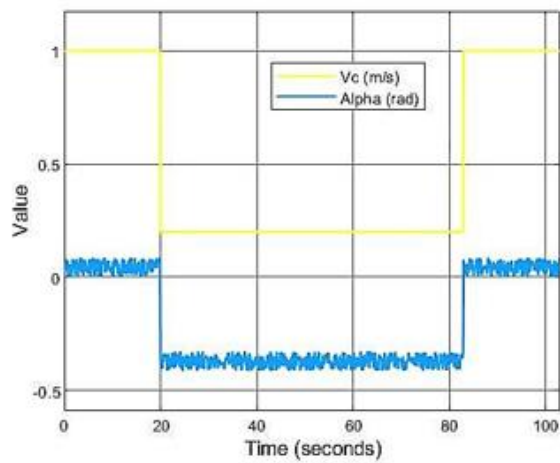


**Hình 2. 21** Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng hở trong điều kiện có nhiễu.

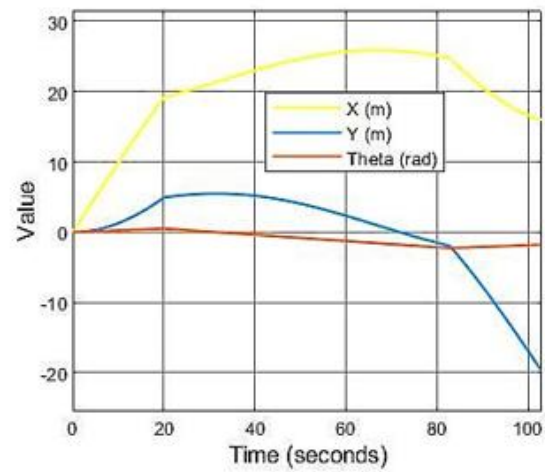
Hình 2.22 lần lượt mô tả các tín hiệu điều khiển ( $v, \alpha$ ) và trạng thái đầu ra ( $x, y, \theta$ ). Và quỹ đạo chuyển động của robot trong trường hợp này được mô tả ở hình 2.23.

So sánh hình 2.22b và hình 2.23 ta có thể thấy do nhiễu góc lái nên đường đi thực sự của robot không theo như quỹ đạo yêu cầu ở trên. Đồng thời hệ thống không có đường phản hồi từ robot nên tín hiệu điều khiển không thể xử lý tiếng ồn. Do đó, đường đi của robot không đạt yêu cầu như mong đợi.



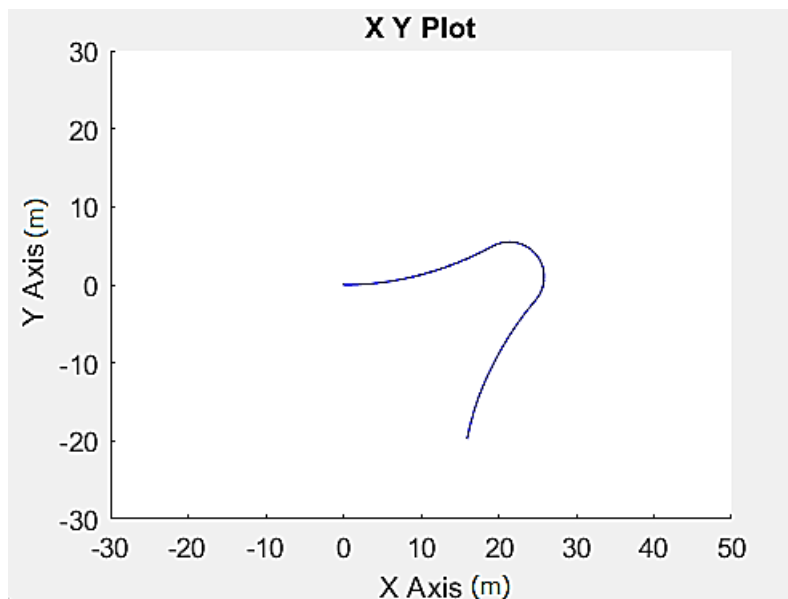


(a) Tín hiệu điều khiển



(b) Trạng thái đầu ra

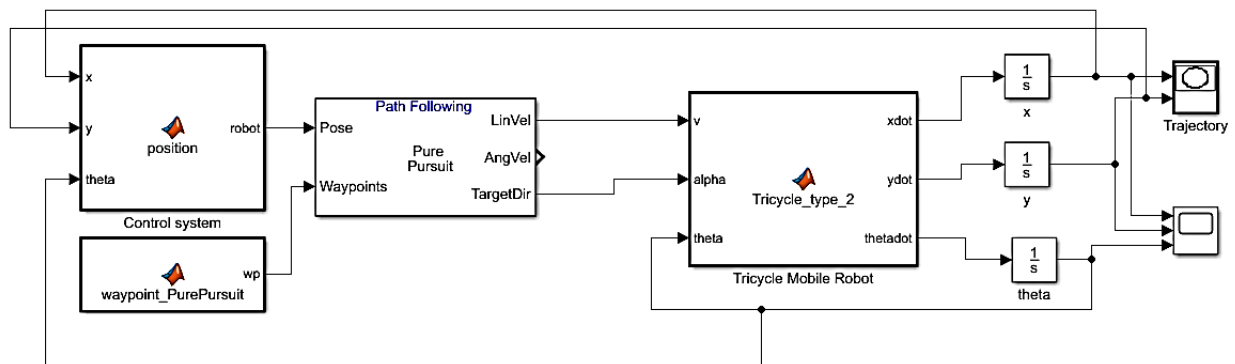
**Hình 2. 22** Tín hiệu điều khiển và trạng thái đầu ra của robot trong điều kiện có nhiễu



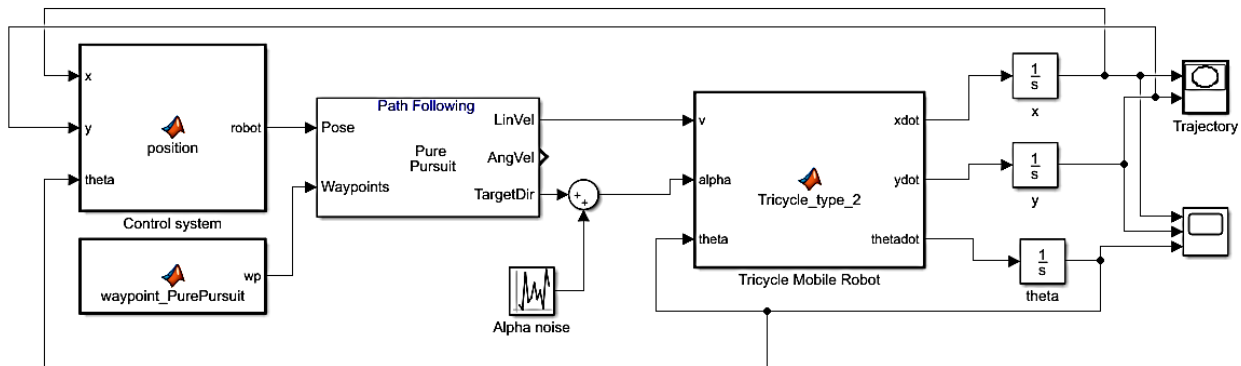
**Hình 2. 23** Quỹ đạo chuyển động của robot dựa trên bộ điều khiển vòng hở trong điều kiện có nhiễu

### 3.3. Bộ điều khiển vòng kín

Trong phần này, ta sử dụng thuật toán Pure Pursuit để thiết kế bộ điều khiển vòng kín để điều khiển robot bám theo quỹ đạo ở hình 2.17 trong hai trường hợp không nhiễu và có nhiễu. Hình 2.24 mô tả sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng kín bằng MATLAB Simulink trong trường hợp không nhiễu và hình 2.25 mô tả sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng kín trong trường hợp có nhiễu, cụ thể là nhiễu tại góc lái bị nhiễu với độ lệch bằng  $5^0$  dưới đây:

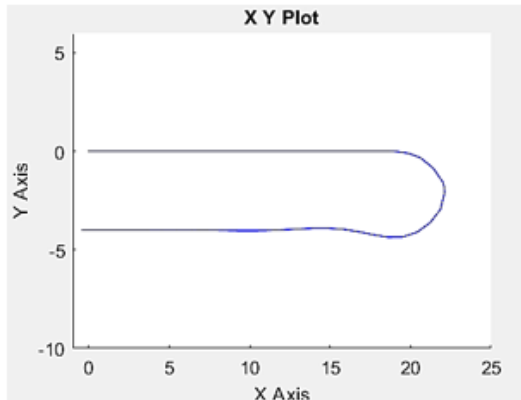


**Hình 2. 24** Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng kín của robot trong điều kiện không nhiễu.

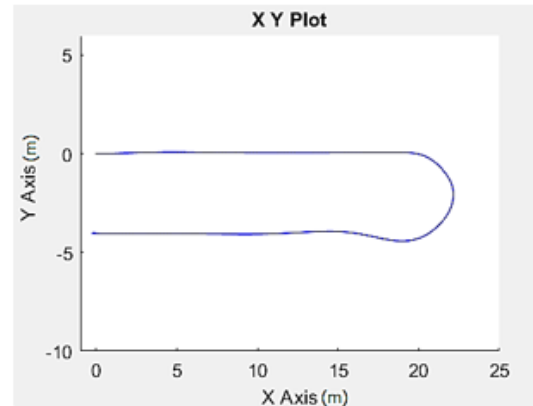


**Hình 2. 25** Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển vòng kín của robot trong điều kiện có nhiễu.

Kết quả mô phỏng thu được bao gồm quỹ đạo chuyển động và trạng thái đầu ra lần lượt được thể hiện trong hình 2.26 và hình 2.27 như sau:

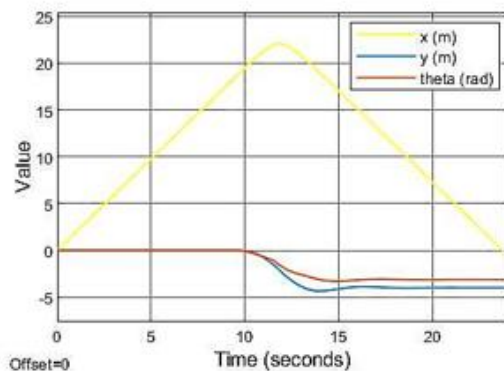


(a) Không nhiễu

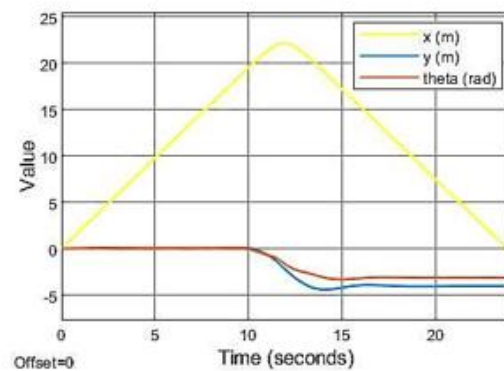


(b) Có nhiễu

**Hình 2. 26** Quỹ đạo chuyển động của robot dựa trên bộ điều khiển vòng kín áp dụng thuật toán Pure Pursuit



(a) Không nhiễu



(b) Có nhiễu

**Hình 2. 27** Trạng thái đầu ra của robot dựa trên bộ điều khiển vòng kín trong điều kiện có nhiễu

Từ đây, ta thấy khi sử dụng bộ điều khiển vòng hở thì quỹ đạo chuyển động của robot trong điều kiện lý tưởng và điều kiện có nhiễu vẫn giữ được gần đúng như quỹ đạo yêu cầu trong hình 2.17. Mặc dù bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhưng hệ thống vẫn ổn định và robot vẫn bám theo được quỹ đạo yêu cầu ở trên.

### III. ĐỊNH VỊ SỬ DỤNG BỘ LỌC KALMAN MỞ RỘNG

Trong phần này, robot 3 bánh kiểu thứ 2 (bánh trước điều hướng, bánh sau truyền động) được sử dụng. Giả thiết rằng các tín hiệu điều khiển vận tốc  $v$  và hướng  $\alpha$  bị ảnh hưởng bởi nhiễu Gauss có trị trung bình bằng 0 và phương sai lần lượt là  $\sigma_v = 2,5 \times 10^{-3} (m^2 / s^2)$  và  $\sigma_\alpha = 3,6 \times 10^{-3} (rad^2)$

Để tăng cường khả năng định vị, robot được trang bị một cảm biến đo xa laser gắn tại tâm của robot như trong hình 1. Cảm biến này có thể đo khoảng cách  $r$  và góc  $\beta$  giữa robot và các điểm mốc trong môi trường làm việc của robot. Nhiễu đo của cảm biến này có trị trung bình bằng 0 và các phương sai lần lượt là  $\sigma_r = 10^{-6} (m^2)$  và  $\sigma_\beta = 7,62 \times 10^{-5} (rad^2)$

Cho biết có 2 điểm mốc trong môi trường làm việc của robot với các tọa độ là (3;4) và (4;4) m. Vị trí ban đầu của robot là (0,0,0). Thời gian lấy mẫu của bộ điều khiển và cảm biến là 0,05 giây. Các tín hiệu điều khiển (khi chưa bị nhiễu) được thiết lập là vận tốc  $v = 0,1 m/s$  và góc lái  $\alpha = 0,2 rad$ .

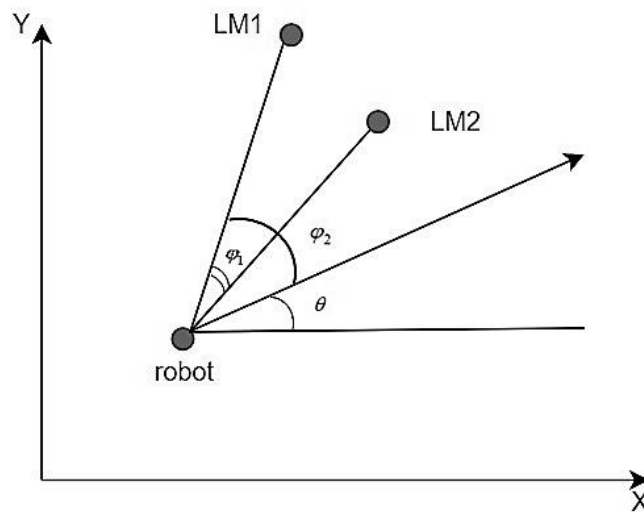
#### 1. Phương trình động học và phương trình các phép đo của robot trong miền thời gian rời rạc.

Nhắc lại phương trình (2.13), phương trình động học của robot theo kiểu điều khiển thứ hai như sau:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= V \cos \theta \\ \dot{y} &= V \sin \theta \\ \dot{\theta} &= \frac{V}{d} \tan \alpha\end{aligned}\tag{2.13}$$

Trong vấn đề định vị cho robot, ta có hai điểm mốc (3;4) và (4;4). Từ đây ta có thể tính toán khoảng cách và góc giữa robot và 2 điểm mốc.

Hình (3.1) mô tả vị trí của robot 3 bánh so với 2 điểm mốc trong hệ toàn cục như sau:



**Hình 3. 1** Vị trí của robot và hai điểm mốc

Từ đây ta có phương trình các phép đo của robot trong miền rời rạc như sau:

$$h(x) = \begin{bmatrix} r_1 = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \\ r_2 = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} \\ \varphi_1 = \arctan \frac{y-y_1}{x-x_1} - \theta \\ \varphi_2 = \arctan \frac{y-y_2}{x-x_2} - \theta \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Trong đó:

$r_1, r_2$  lần lượt là khoảng cách của robot tới 2 điểm mốc.

$\varphi_1, \varphi_2$  lần lượt là góc giữa robot và 2 điểm mốc trong hệ toàn cục.

Tọa độ 2 điểm mốc lần lượt là  $(x_1, y_1) = (3; 4)$  và  $(x_2, y_2) = (4; 4)$

## 2. Phương trình tính tư thế (vị trí và hướng) của robot sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng.

Trong phần này, ta bắt đầu thiết kế bộ lọc Kalman mở rộng cho robot ba bánh. Để thiết kế bộ lọc này, ta cần có phương trình hệ thống ở dạng phi tuyến và cần áp dụng khai triển Taylor để tuyến tính hóa phương trình hệ thống.

Theo định nghĩa đạo hàm, ta có:

$$\begin{cases} \frac{x_k - x_{k-1}}{\Delta T} = \dot{x} \\ \frac{y_k - y_{k-1}}{\Delta T} = \dot{y} \\ \frac{\theta_{k+1} - \theta_k}{\Delta T} = \dot{\theta} \end{cases} \quad (3.2)$$

Kết hợp cùng phương trình (2.13) ta có như sau:

$$\begin{cases} x_k = x_{k-1} + V \cdot \cos(\theta_{k-1}) \cdot \Delta T \\ y_k = y_{k-1} + V \cdot \sin(\theta_{k-1}) \cdot \Delta T \\ \theta_k = \theta_{k-1} + \frac{V \cdot \tan \alpha}{d} \cdot \Delta T \end{cases} \quad (3.3)$$

Vậy nên ta có mô hình động học của robot 3 bánh kiểu thứ hai trong miền rời rạc như sau:

$$x_k = f(x_{k-1}, u_{k-1}) = \begin{bmatrix} x_{k-1} + v_{k-1} \cos \theta_{k-1} \Delta T \\ y_{k-1} + v_{k-1} \sin \theta_{k-1} \Delta T \\ \theta_{k-1} + \frac{v_{k-1}}{d} \tan \alpha_{k-1} \Delta T \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Trong đó  $x_{k-1} = \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \\ \theta_{k-1} \end{bmatrix}$  và  $u_{k-1} = \begin{bmatrix} v_{k-1} \\ \alpha_{k-1} \end{bmatrix}$  là vị trí và tín hiệu điều khiển của robot

tại thời điểm  $k-1$  và  $x_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \theta_k \end{bmatrix}$  là vị trí của robot tại thời điểm  $k$ .

Áp dụng công thức khai triển Taylor bậc nhất cho phương trình (3.4), thu được:

$$x_k = \hat{x}_k + A(x - x_{k-1}) + W\omega_{k-1} \quad (3.5)$$

Trong đó:  $\hat{x}_k$  là vị trí dự đoán dựa vào tín hiệu điều khiển

$A$  là ma trận Jacobi của đạo hàm riêng của  $f$  theo  $x, y, \theta$

$$A = \frac{\partial f}{\partial x}(\hat{x}_{k-1}, u_{k-1}, 0) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_x}{\partial x} & \frac{\partial f_x}{\partial y} & \frac{\partial f_x}{\partial \theta} \\ \frac{\partial f_y}{\partial x} & \frac{\partial f_y}{\partial y} & \frac{\partial f_y}{\partial \theta} \\ \frac{\partial f_\theta}{\partial x} & \frac{\partial f_\theta}{\partial y} & \frac{\partial f_\theta}{\partial \theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -V\sin\theta.\Delta T \\ 0 & 1 & V\cos\theta.\Delta T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$W$  là ma trận Jacobi của đạo hàm riêng của  $f$  theo  $v, \alpha$

$$W = \frac{\partial f}{\partial w}(\hat{x}_{k-1}, u_{k-1}, 0) = \frac{\partial f}{\partial u}(\hat{x}_{k-1}, u_{k-1}, 0) = \frac{\partial f}{\partial V}(\hat{x}_{k-1}, u_{k-1}, 0) + \frac{\partial f}{\partial \alpha}(\hat{x}_{k-1}, u_{k-1}, 0)$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial f_x}{\partial V} & \frac{\partial f_x}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f_y}{\partial V} & \frac{\partial f_y}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial f_\theta}{\partial V} & \frac{\partial f_\theta}{\partial \alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta.\Delta T & 0 \\ \sin\theta.\Delta T & 0 \\ \frac{\tan\alpha.\Delta T}{d} & \frac{V.\Delta T}{\cos^2\alpha.d} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$Q$  là ma trận hiệp phương sai nhiễu đầu vào phụ thuộc vào độ lệch chuẩn của nhiễu của tốc độ  $V$  và hướng  $\alpha$  của robot. Và do nhiễu vận tốc và nhiễu góc lái  $\alpha$  là độc lập với nhau nên ta có ma trận  $Q$  như sau:

$$Q = \begin{bmatrix} \sigma_v & 0 \\ 0 & \sigma_\alpha \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Trong đó  $\sigma_v, \sigma_\alpha$  lần lượt là phương sai của vận tốc và góc lái.

Theo khai triển Taylor bậc nhất áp dụng cho phép đo, thu được:

$$z_k \approx z_k^- + H(x - x_k^-) + V.v_k \quad (3.9)$$

Với  $H$  là ma trận Jacobi đạo hàm riêng của phép đo  $h$  theo  $x, y, \theta$

$$\begin{aligned} low_{H_{[i,j]}} &= \frac{\partial h[i]}{\partial x[j]}(\tilde{x}_k, 0) = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial x} & \frac{\partial r_1}{\partial y} & \frac{\partial r_1}{\partial \theta} \\ \frac{\partial r_2}{\partial x} & \frac{\partial r_2}{\partial y} & \frac{\partial r_2}{\partial \theta} \\ \frac{\partial \phi_1}{\partial x} & \frac{\partial \phi_1}{\partial y} & \frac{\partial \phi_1}{\partial \theta} \\ \frac{\partial \phi_2}{\partial x} & \frac{\partial \phi_2}{\partial y} & \frac{\partial \phi_2}{\partial \theta} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{x - x_1}{\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}} & \frac{y - y_1}{\sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}} & 0 \\ \frac{x - x_2}{\sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}} & \frac{y - y_2}{\sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2}} & 0 \\ \frac{y_1 - y}{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} & \frac{x_1 - x}{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} & -1 \\ \frac{y_2 - y}{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} & \frac{x_2 - x}{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} & -1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.10)$$



$R$  là ma trận hiệp phương sai của nhiễu được ước lượng từ nhiễu trong phép đo của cảm biến đo xa laser gắn tại tâm của robot như hình 1. Và do nhiễu tính khoảng cách  $r$  và nhiễu góc  $\beta$  là độc lập với nhau nên ta có ma trận  $R$  như sau:

$$R_k = \begin{bmatrix} \sigma_r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_\beta \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Trong đó  $\sigma_r, \sigma_\beta$  lần lượt là phương sai của phép đo khoảng cách và phép đo góc của sensor từ robot tới điểm mốc.

Sau khi thu được những ma trận cần tính, từ đây có thể ước lượng được vị trí của robot dựa trên bộ lọc Kalman mở rộng theo hai pha sau:

<b>Pha dự đoán</b> (Predict)	<b>Pha cập nhật</b> (Correct)
$\hat{x}_k^- = f(\hat{x}_{k-1}^-, u_{k-1}, 0) \quad (3.12)$	$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (3.14)$
$P_k^- = A_k P_{k-1} A_k^T + W_k Q_{k-1} W_k^T \quad (3.13)$	$x_k = \hat{x}_k^- + K(z_k - h(\hat{x}_k^-)) \quad (3.15)$
	$P_k = (I_{3 \times 3} - K_k H_k) P_k^- \quad (3.16)$

Trong đó:

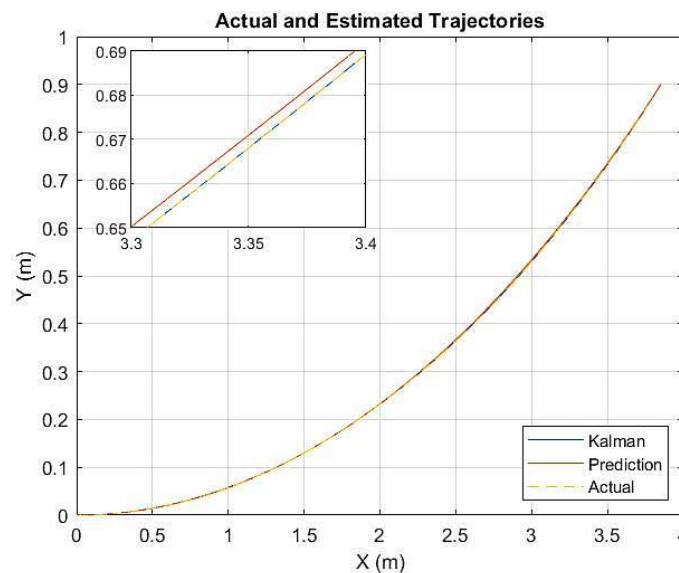
$\hat{x}_k^-$  và  $P_k^-$  là ma trận vị trí dự đoán và ma trận hiệp phương sai dự đoán của hệ thống tại thời điểm  $k$ .

$x_k$  và  $P_k$  là ma trận vị trí ước lượng và ma trận hiệp phương sai ước lượng tại thời điểm  $k$ .

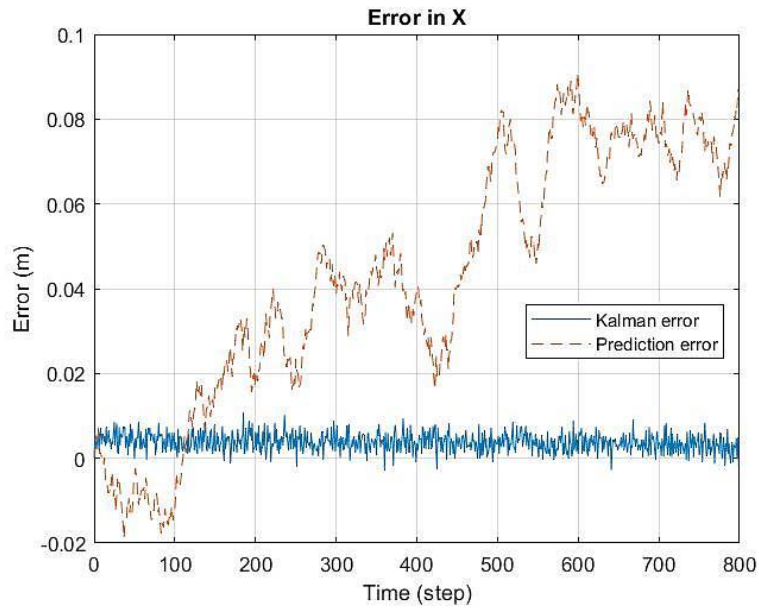
Tại mỗi giá trị của biến thời gian  $k$  thì trạng thái, ma trận hiệp phương sai pha dự đoán, ma trận hiệp phương sai pha ước lượng và hệ số Kalman  $K_k$  được tính theo các phương trình từ (3.12) - (3.16)

### 3. Chương trình MATLAB để ước lượng vị trí và hướng của robot sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng

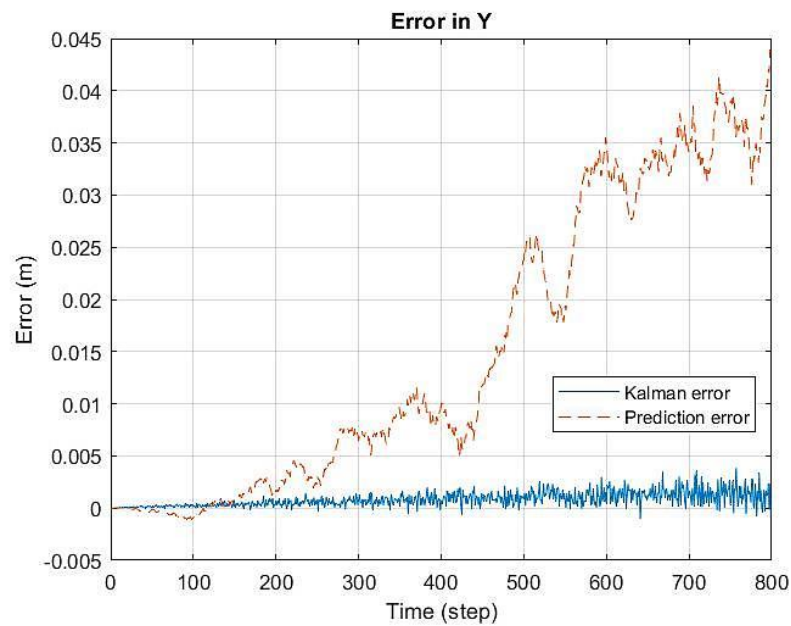
Trong phần này, sẽ mô phỏng được hiệu quả của việc áp dụng bộ lọc Kalman mở rộng. Kết quả được thể hiện trong các hình từ hình 3.2 - 3.5.



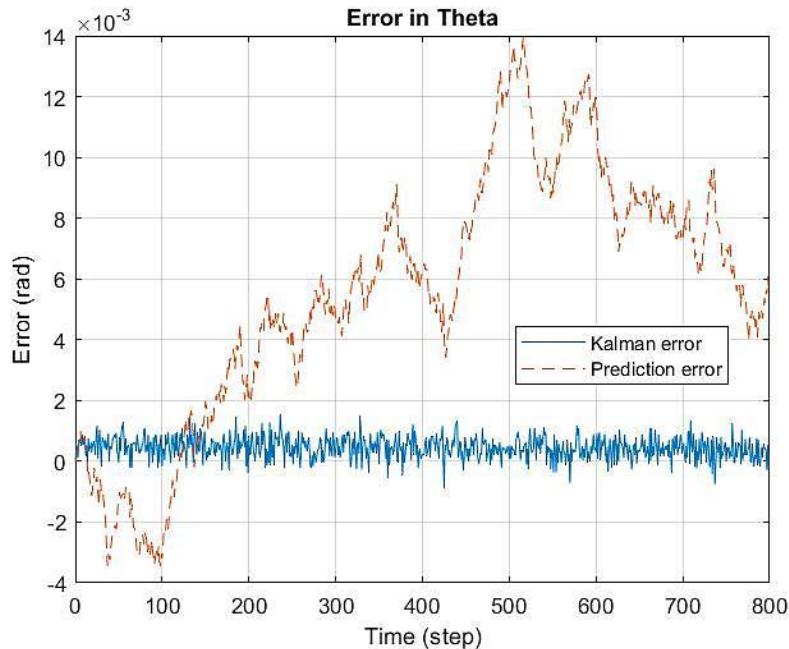
**Hình 3. 2** So sánh đường đi dự đoán, đường đi thực sự và đường đi dựa trên bộ lọc Kalman mở rộng của robot



**Hình 3. 3** So sánh lỗi trong trạng thái  $X$  giữa dự đoán và sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng



**Hình 3. 4** So sánh lỗi trong trạng thái  $Y$  giữa dự đoán và sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng



**Hình 3. 5** So sánh lỗi trong trạng thái  $\theta$  giữa dự đoán và sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng

Trong hình 3.2, ta thấy có 3 đường lần lượt là dự đoán, đường thực sự và đường Kalman. Đường dự đoán thu được từ mô hình động học của robot ba bánh điều khiển theo kiểu thứ hai. Đường thực tế được lấy từ file ‘contrlsig.mat’. Còn đường Kalman có được là khi áp dụng bộ lọc Kalman mở rộng. Từ hình có thể thấy đường đi theo bộ lọc Kalman rất gần với đường đi thực sự của robot hơn đường dự đoán.

Các hình 3.3 – 3.5 thể hiện lỗi trong các trạng thái  $x, y, \theta$  giữa bên dự đoán và bên sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng. Ta thấy sai số bên pha dự đoán tăng biến thiên theo thời gian có thể do lỗi mô hình hoặc lỗi do nhiễu từ môi trường. Nhưng khi sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng, lỗi trên trạng thái  $x, y, \theta$  được cải thiện rõ ràng, cụ thể là sai số khi sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng gần như bằng 0 (cỡ  $5 \times 10^{-3} - 10^{-3}$ ) so với sai số dự đoán.

Cuối cùng, ta có thể thấy kết quả của mô hình mô phỏng là hợp lý. Các kết quả trên đã chứng minh được việc sử dụng bộ lọc Kalman mở rộng rất hữu ích và có ý nghĩa thiết thực trong việc ước tính vị trí của robot.