

# Ứng dụng xử lý ảnh trong điều khiển robot gậy hỗ trợ người mù giữ thăng bằng khi di chuyển

## Image Processing Application in Controlling the Robotic Cane to Support the Blind Maintain Balance When Moving

Phí Văn Lâm<sup>1,2</sup>, Yasutaka Fujimoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ĐH Giao Thông Vận Tải – Việt Nam, <sup>2</sup>Yokohama National University - Japan

Email: [info@pvl.vn](mailto:info@pvl.vn)

### Abstract

The hardware design of a robotic cane to support the blind people to walk is proposed. Especially, the application of the image processing method to determine navigate lines of the blind people is presented in this paper. The PD controller applied to control the motion of the robotic cane to follow the navigate lines while the robotic cane supports the blind to walk is also discussed. Moreover, the nonlinear disturbance observer to estimate human forces is applied to the robotic cane to control its motion to help the blind to maintain balancing more conveniently.

Experiment results on the hardware design of the robotic cane indicate that the controller works well to support the blind to walk following the navigate lines.

### Keywords

Two-wheeled cane, robotic cane, image processing, inverted pendulum, walking assist devices.

### Tóm tắt

Một mô hình phần cứng của robot gậy được thiết kế để hỗ trợ người mù di chuyển theo đường định tuyến sẽ được trình bày trong bài báo. Ngoài ra, việc ứng dụng xử lý ảnh trong việc phát hiện đường định tuyến cho người mù được đề cập trong bài báo. Ứng dụng bộ điều khiển PD trong việc kiểm soát chuyển động của robot gậy bám đường định tuyến cho người mù khi di chuyển ổn định. Thêm vào đó, ứng dụng bộ giám sát phi tuyến để ước lượng lực tác động từ người sử dụng tới robot gậy nhằm kiểm soát chuyển động của robot gậy hỗ trợ người dùng thăng bằng khi di chuyển sẽ được trình bày trong bài báo này.

Kết quả thực nghiệm trên mô hình robot gậy thực tế chứng minh rằng bộ điều khiển được thiết kế phù hợp với việc hỗ trợ người mù ổn định thăng bằng khi di chuyển theo đường định tuyến.

### Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$J_\phi$	$kg.m^2$	Quán tính của gậy
$J_\theta$	$kg.m^2$	Quán tính của bánh xe
$\tau$	$N.m$	Mô men xoắn truyền động
$D_\phi$	$N.m.s / rad$	Hệ số ma sát trượt của gậy
$D_\theta$	$N.m.s / rad$	Hệ số ma sát trượt bánh xe
$\phi$	$rad$	Góc lệch của gậy theo phương dọc
$\theta$	$rad$	Góc lệch của bánh xe theo phương dọc
$d_1$	$N.m$	Ngoại lực tác động lên gậy
$d_2$	$N.m$	Ngoại lực tác động lên bánh xe

$g$	$m / s^2$	Gia tốc trọng trường
$m$	$kg$	Khối lượng của gậy
$M$	$kg$	Khối lượng của bánh xe

### Chữ viết tắt

LAM	Lie algebra method
USB	Universal serial bus
I2C	Inter-Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface

## 1. Phần mở đầu

Các thiết bị hỗ trợ cho người già và người tàn tật đang được nghiên cứu và phát triển rất tốt trong xã hội ngày nay. Đặc biệt, các thiết bị hỗ trợ người mù đứng và đi lại với kích thước nhỏ gọn, tiện lợi còn nhiều hạn chế trong cả nghiên cứu và sản phẩm với mục đích thương mại.

Với khả năng ứng dụng thực tiễn của các nghiên cứu về robot gậy giống như thiết kế của một cây gậy truyền thống nhằm duy trì trạng thái thăng bằng của người sử dụng trong quá trình di chuyển được tác giả [1-3] trình bày và có các kết quả từ mô phỏng đến thực nghiệm khá chi tiết. Tuy vậy, khả năng ứng dụng của robot gậy này cho những người tàn tật như người mù là chưa được nghiên cứu và thực nghiệm trên mô hình cụ thể.

Trong bài báo này, các tác giả trình bày ứng dụng của một phương pháp xử lý hình ảnh được áp dụng cho robot gậy để hỗ trợ người mù duy trì sự cân bằng trong khi di chuyển để bám theo đường chỉ màu dành riêng cho họ.

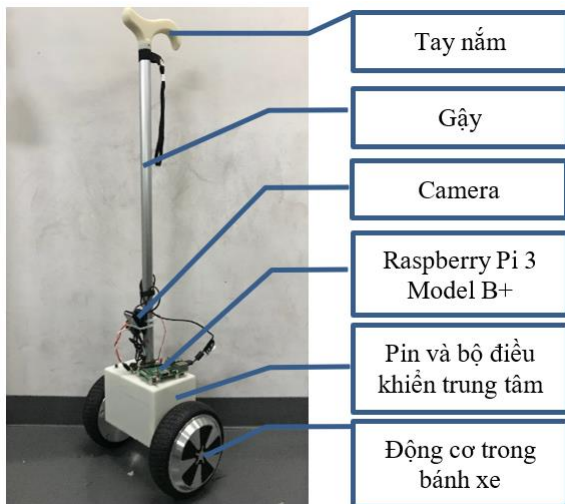
Với những thành tựu to lớn của khoa học và nghiên cứu hiện nay, việc ứng dụng thuật toán xử lý ảnh trong bài toán phát hiện chuyển động, đo đếm và phân tích đối tượng như tác giả [4] trình bày đã đem đến những

hướng tiếp cận mới trong việc ứng dụng nó vào thực tiễn như nhận diện màu sắc [7] và phân tích đặc trưng của đối tượng áp dụng cho mô hình robot gậy cụ thể như trong bài báo được trình bày.

Việc áp dụng bộ điều khiển truyền thống PID với các kết quả tốt cũng được thể hiện trong bài báo này.

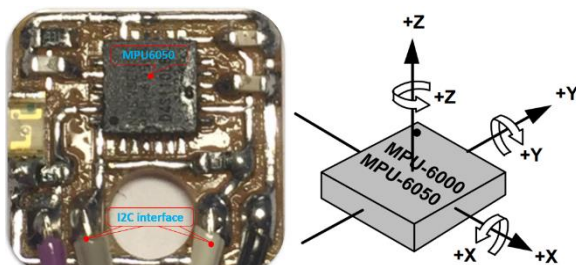
## 2. Nội dung chính

### 2.1. Thiết kế phần cứng



H. 1 Phân cứng của robot gậy.

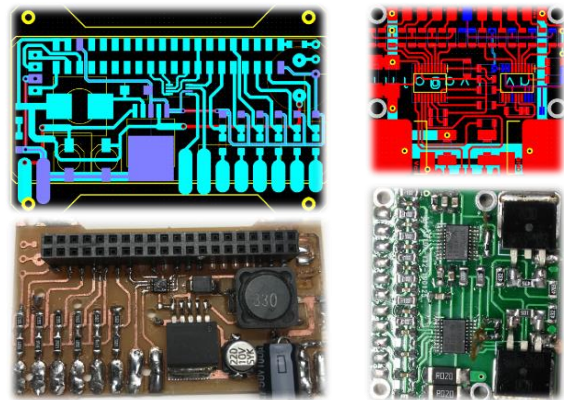
Như được thể hiện trong H. 1, robot gậy bao gồm một tay nắm với mục đích trợ giúp cho người sử dụng duy trì thăng bằng trong quá trình di chuyển theo đường định tuyến được gắn ở phía trên cùng của gậy, phía dưới sau đó là một camera thu nhận hình ảnh được gắn cố định vào gậy với khoảng cách, góc cố định với mặt đường và kết nối với máy tính nhúng xử lý ảnh Raspberry Pi 3 Model B+ thông qua cổng giao tiếp USB, dữ liệu sau khi được xử lý ảnh được truyền từ máy tính nhúng xử lý ảnh tới bộ xử lý trung tâm là một máy tính nhúng Raspberry Pi Zero W có nhiệm vụ điều khiển chuyển động của robot gậy để hỗ trợ người sử dụng thăng bằng khi di chuyển, góc lệch của gậy so với phương dọc được đo bởi cảm biến gia tốc MPU6050 như H. 2 với chuẩn giao tiếp được kết nối là I2C.



H. 2 Cảm biến gia tốc MPU6050.

Tất cả hệ thống được cấp nguồn bởi một bộ nguồn Lithium 42VDC ở chế độ sạc đầy với dòng cung cấp lên đến 2189mAh và thời gian sạc đầy định mức là 2.5h đi kèm với mạch bảo vệ pin (H. 3 b), hai máy tính nhúng được cấp nguồn thông qua mạch hạ áp sử dụng

chíp LM2576HVS cung cấp điện áp đầu ra cố định 5V với dòng điện duy trì 3A, chuyển động của hai động cơ trong bánh xe được điều khiển thông qua bộ điều khiển động cơ ESCON70/10 với dòng điện đầu ra liên tục 10A thông qua chân điều khiển với tín hiệu tương tự.



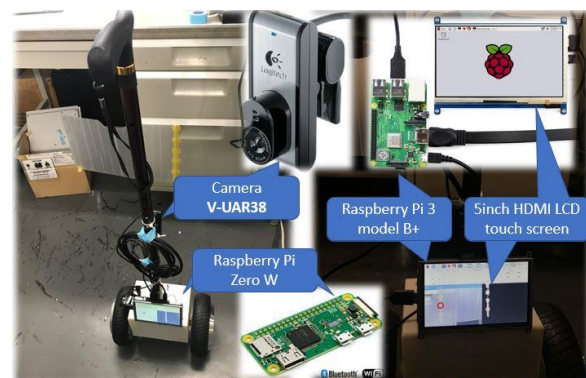
H. 3 Sơ đồ mạch điều khiển trung tâm và mạch bảo vệ pin.

Việc điều khiển này được thực hiện thông qua mạch giao tiếp sử dụng chíp chuyển đổi tín hiệu số sang tương tự MCP4822 bởi truyền thông SPI với bộ điều khiển trung tâm (H. 3 a).



H. 4 Bánh xe cao su tự nhiên kèm động cơ không chổi than.

Động cơ trong bánh xe như mô tả trong H. 4, với một động cơ không chổi than hoạt động ở mức điện áp 36VDC đi kèm với cặp cảm biến hiệu ứng Hall cho phép bộ điều khiển trung tâm đo tốc độ và góc lệch của bánh xe so với phương dọc.



H. 5 Tổng quan hệ thống của robot gậy.

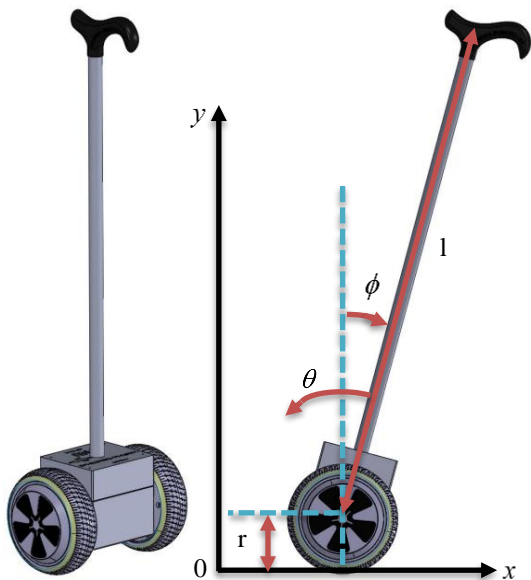
Thiết kế tổng thể của robot gây được chỉ ra cụ thể trên H. 5 với khả năng hiện thị hình ảnh và tham số của hệ thống thông qua màn hình hiển thị cảm ứng 7-inch với khả năng tương tác trực tiếp với người sử dụng thông qua giao diện hiển thị trên màn hình kết hợp với các phím chức năng cứng trên bảng điều khiển.



H. 6 Các loại của đường định tuyến cho người mù cơ bản.

Như trong H. 6, chúng ta có nhiều loại đường điều hướng cho người mù: đường thẳng, đường cong, và đường gấp khúc. Tuy nhiên, chúng có kích thước và màu sắc đồng nhất đối với từng quốc gia thường là màu vàng. Do đó, việc sử dụng phương pháp xử lý hình ảnh sẽ trở nên hiệu quả và hợp lý hơn so với các phương pháp phức tạp và đắt tiền khác để phát hiện đường điều hướng để hỗ trợ người mù đi bộ. Với lợi thế cạnh tranh về mặt giá thành và công nghệ là một thế mạnh của sản phẩm sau nghiên cứu của tác giả.

### 2.1. Thiết kế bộ điều khiển



H. 6 Hệ tọa độ quy chiếu của mô hình hệ thống.

Như mô tả trên H.6, mô hình của robot gây là mô hình con lắc ngược truyền thống. Để phân tích chuyển động của hệ thống này chúng tôi sử dụng phương trình biến đổi Lagrange được thể hiện như sau:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = \tau - d \quad (1)$$

với  $L$  là toán tử Lagrangian,  $q$  là vec tơ tọa độ tổng quát,  $\tau$  là mô men xoắn tác động lên trục động cơ,  $d$  là ngoại lực tác động lên hệ thống.

Việc phân tích này được tác giả [1-3] mô tả chi tiết và được thể hiện lại với ma trận hàm truyền được thể hiện lại như sau:

$$\begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -d_1 \\ \tau - d_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Với các tham số của ma trận được mô tả chi tiết trong các phương trình (3)-(9):

$$H_{11} = J_{\theta} + (M + m)r^2 + 2mrl \cos \phi + J_{\phi} + ml^2 \quad (3)$$

$$H_{12} = H_{21} = -J_{\theta} - (M + m)r^2 - mrl \cos \phi \quad (4)$$

$$H_{22} = J_{\theta} + (M + m)r^2 \quad (5)$$

$$b_1 = -\dot{\phi}^2 mrl \sin \phi - mgl \sin \phi + D_{\phi} \dot{\phi} \quad (6)$$

$$b_2 = \dot{\phi}^2 mrl \sin \phi + D_{\theta} \dot{\theta} \quad (7)$$

Mô men xoắn tác động lên trục động cơ để điều khiển chuyển động của robot gây được thể hiện như sau:

$$\tau = (H_{22} - \frac{H_{12}H_{21}}{H_{11}})u - \frac{H_{21}}{H_{11}}b_1 - \frac{H_{21}}{H_{11}}d_1 + b_2 + d_2 \quad (8)$$

Để tuyến tính hóa hệ thống phi tuyến này, tác giả sử dụng phương pháp LAM như được trình bày bởi [3], các tham số tuyến tính của hệ thống sau khi tuyến tính hóa được trình bày lại như phương trình (9)-(12):

$$y = \int_0^{\phi} \frac{H_{11}}{H_{12}} d\phi + \theta \quad (9)$$

$$\dot{y} = \frac{H_{11}}{H_{12}} \dot{\phi} + \dot{\theta} \quad (10)$$

$$\ddot{y} = \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{H_{11}}{H_{12}} \dot{\phi}^2 - \frac{b_1}{H_{12}} \quad (11)$$

$$y^{(3)} \approx \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \frac{H_{11}}{H_{12}} \dot{\phi}^3 - \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{b_1}{H_{12}} \dot{\phi} - 2 \left( \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{H_{11}}{H_{12}} \right) \frac{b_1}{H_{11}} \dot{\phi} \quad (12)$$



Giá trị đầu vào của bộ điều khiển duy trì sự ổn định thăng bằng của robot gây được trình bày như sau:

$$u = \frac{v - L_f^4 h(x)}{L_g L_f^3 h(x)} \quad (13)$$

Hệ số của bộ điều khiển được định nghĩa là sự sai lệch giữa tín hiệu hiện tại và tín hiệu tham chiếu như sau:

$$v = \sum_{i=0}^r \lambda_i (y^{(i)} - y_{ref}^{(i)}) \quad (14)$$

Các tham số còn lại của phương trình (13) được trình bày như sau:

$$\begin{aligned} L_g L_f^3 h(x) &= -3 \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \frac{H_{11}}{H_{12}} \frac{H_{12}}{H_{11}} \dot{\phi}^2 + \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{b_1}{H_{12}} \frac{H_{12}}{H_{11}} + 2 \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{H_{11}}{H_{12}} \frac{H_{12}}{H_{11}^2} b_1 \quad (15) \\ L_f^4 h(x) &= -\frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \frac{b_1}{H_{12}} \dot{\phi}^2 + \frac{\partial^3}{\partial \phi^3} \frac{H_{11}}{H_{12}} \dot{\phi}^4 - 5 \left( \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \frac{H_{11}}{H_{12}} \right) \frac{b_1}{H_{11}} \dot{\phi}^2 \\ &\quad - 2 \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{b_1}{H_{12}} \dot{\phi}^2 + \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{b_1}{H_{12}} \frac{b_1}{H_{11}} + 2 \frac{\partial}{\partial \phi} \frac{H_{11}}{H_{12}} \left( \frac{b_1}{H_{11}} \right)^2 \quad (16) \end{aligned}$$

Tiếp đến, một bộ điều khiển PD được thêm vào nhằm điều khiển robot gây bám theo đường định tuyến cho người mù, bộ điều khiển này được mô tả như phương trình (17):

$$u_{PD}(t) = K_P e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (17)$$

Biểu thức tính gần đúng của bộ điều khiển PD được thể hiện như sau:

$$u_{PD}(k) = K_P P(k) + K_D D(k) \quad (18)$$

$$P(k) = e(k) \quad (19)$$

$$D(k) = \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \quad (20)$$

Trong đó, thời gian lấy mẫu của bộ điều khiển này được đặt cố định như sau:

$$T = t(k) - t(k-1) = 1ms \quad (21)$$

Thêm vào đó, một bộ giám sát phi tuyến được tác giả [3] được thêm vào nhằm ước lượng lực tác động từ người sử dụng tới robot gây để điều khiển chuyển động của robot gây theo hành vi cần thiết của người sử dụng như sau:

$$\dot{\xi} = -K \xi + K^2 \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} + K \left( \frac{\partial L}{\partial q} + \tau \right) \quad (23)$$

$$\hat{d} = \xi - K \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \quad (24)$$

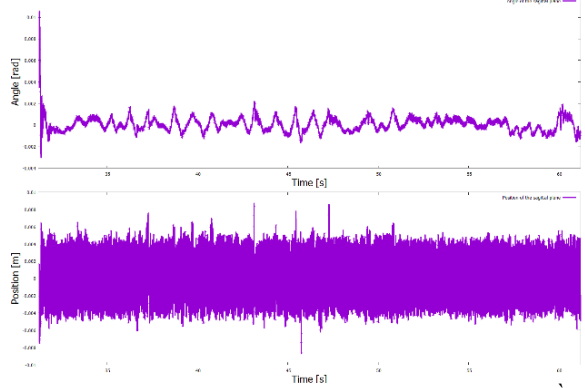
trong đó,  $\hat{d}$  là ngoại lực tác động lên robot gây,  $\xi$  là biến quan sát nhiễu,  $K$  hệ số của bộ giám sát nhiễu.

Trong đó, ngoại lực tác động được ước lượng theo hai vị trí là lực tác động lên gây, và lực tác động lên bánh xe được thể hiện như sau:

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\phi}} = H_{11} \dot{\phi} + H_{12} \dot{\theta} \quad (25)$$

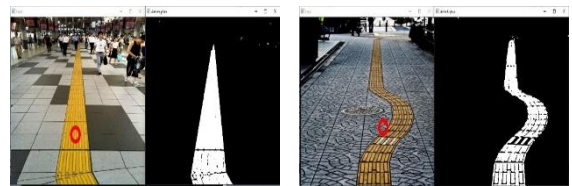
$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = H_{21} \dot{\phi} + H_{22} \dot{\theta} \quad (26)$$

## 2.2. Thiết kế bộ điều khiển



H. 7 Góc và vị trí của robot gây trong trạng thái tự cân bằng.

Đầu tiên, robot gây với khả năng tự ổn định mà không cần bất kỳ sự hỗ trợ nào từ người dùng bằng cách sử dụng LAM và bộ giám sát nhiễu loạn phi tuyến tính như trong H. 7. Với điểm bắt đầu là khoảng 0,01 rad, robot gây đạt được điểm cân bằng trong thời gian ngắn mạnh mẽ ổn định với vị trí như không thay đổi trong giai đoạn cuối của đồ thị với vị trí của robot gây hầu như không dịch chuyển trong toàn chu kỳ.



H. 8 Kết quả của phương pháp xử lý ảnh.

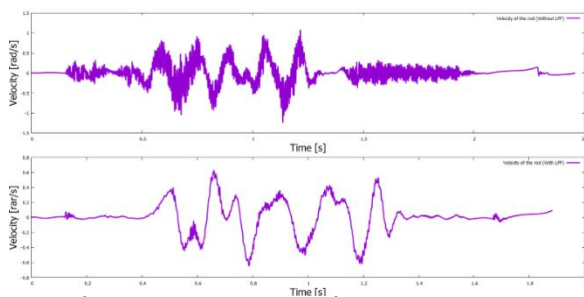
Thứ hai, kết quả của phương pháp ứng dụng xử lý hình ảnh để phát hiện đường điều hướng bằng phương pháp phát hiện màu như trong H. 8. Điều này cho thấy, khi chúng tôi áp dụng phương pháp xử lý hình ảnh cho robot gây trong môi trường trong nhà và ngoài trời, robot có thể phát hiện các dòng điều hướng một cách rõ nét.

Dữ liệu sau khi xử lý sẽ cung cấp cho bộ điều khiển để điều khiển chuyển động của gậy robot để giúp người mù đi lại dễ dàng hơn các phương pháp thông thường.

Tuy vậy, bộ điều khiển có một chút nhiễu loạn khi điều khiển mô hình robot gậy thực tế, dao động giao thoa này phát sinh khi mô hình con lắc bị đảo ngược cố gắng duy trì trạng thái cân bằng. Để loại bỏ nhiễu này, chúng tôi khuyên bạn nên sử dụng bộ lọc thông thấp cho mô men xoắn tác động lên trục động cơ của bộ điều khiển.

$$\tau_{current} = \alpha\tau_{current} + (1-\alpha)\tau_{old} \quad (22)$$

với  $\alpha$  là nhân tố làm mịn,  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Hệ số làm mịn này được chọn dựa trên thử nghiệm cho mô hình robot cụ thể.



H. 9 Kết quả của bộ lọc thông thấp được sử dụng.

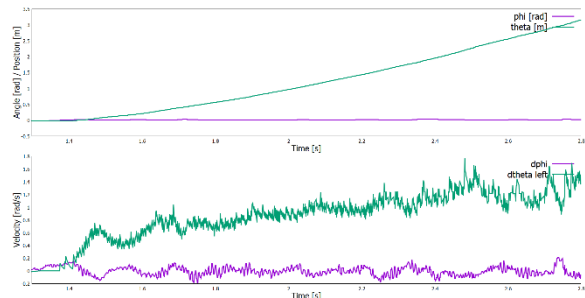
Như trên H. 9, kết quả thử nghiệm trên robot với hai phiên bản của bộ điều khiển trung tâm có bộ lọc thông thấp và không có bộ lọc thông thấp. Như trên đỉnh của biểu đồ, khi không sử dụng bộ lọc thông thấp, nhiễu này khá lớn và gần như xảy ra trong suốt chu kỳ làm việc của robot. Rối loạn nhiễu này được loại bỏ hoàn toàn khi sử dụng bộ lọc thông thấp (biểu đồ dưới cùng của đồ thị).

Với kết quả thử nghiệm này, khi áp dụng bộ lọc thông thấp cho tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển giúp người dùng cảm thấy thoải mái hơn khi sử dụng sự hỗ trợ từ robot gậy trong quá trình cân bằng và đi chuyên.



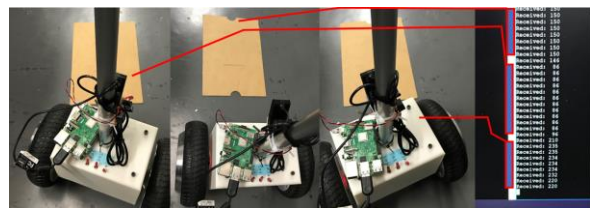
H. 10 Robot gậy hỗ trợ người sử dụng trong môi trường dốc và kém bằng phẳng.

Với môi trường hoạt động được thử nghiệm là dốc và kém bằng phẳng với độ dốc vào khoảng 15 độ như trên H. 10 cho ta thấy một ứng dụng khá linh hoạt của robot gậy với các dạng môi trường làm việc khác nhau mà các thiết bị hỗ trợ khác không làm được như robot 3 bánh xe hỗ trợ đi bộ [5] hoặc các thiết bị trợ giúp di chuyển dạng khung cồng kềnh [6].



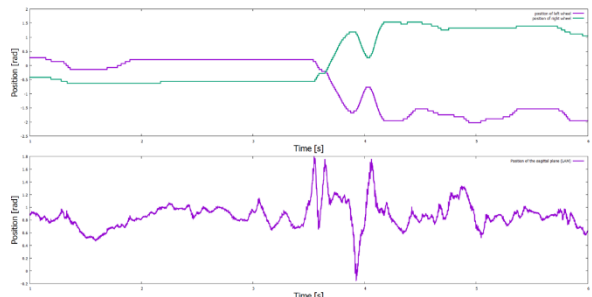
H. 11 Kết quả thực nghiệm trên môi trường dốc.

Kết quả thử nghiệm trên môi trường dốc được thể hiện trên H. 11, với góc lệch của robot gậy hầu như bằng 0, trong khi vị trí của robot gậy được tăng tuyến tính bám theo vị trí của người sử dụng cần trợ giúp khi đi chuyên.



H. 12 Kết quả thực nghiệm trong phòng thí nghiệm với mô hình robot gậy xử dụng thuật toán xử lý ảnh.

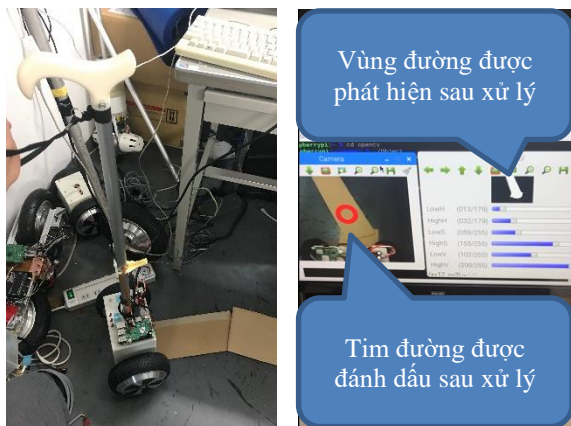
Việc kiểm nghiệm thuật toán xử lý ảnh áp dụng lên mô hình robot gậy được thể hiện bằng kết quả thực nghiệm như trên H. 12 và H. 13. Vị trí trọng tâm của đường điều hướng cho người mù được thuật toán xử lý ảnh tìm kiếm bao gồm hình dạng của đường, tọa độ của trọng tâm, diện tích của vùng được phát hiện.



H. 13 Kết quả dữ liệu từ thuật toán điều khiển ứng dụng xử lý ảnh.

Robot gậy duy trì trạng thái cân bằng cho người sử dụng trong khoảng thời gian đầu chu kỳ cho tới 3.5s, tiếp đó, khi robot gậy phát hiện đường điều hướng lệch về bên trái, robot gậy sẽ dịch chuyển về bên trái tại tâm của robot với góc lệch của hai bánh xe đối xứng nhau ở khoảng thời gian 3.5s như trên H. 13.

Tiếp theo, khi người mù cố gắng di chuyển lệch khỏi đường điều hướng như H. 14, robot gậy áp dụng thuật toán PD, do đó robot gậy sẽ tiếp tục duy trì vị trí của người sử dụng bám theo đường điều hướng. Để có được tọa độ của tim đường như hình bên phải chúng tôi đã áp dụng các biện pháp xử lý ảnh và lọc nhiễu để có được vùng đường điều hướng chính xác và rõ nét như hình phía trên bên phải.



**H. 14** Robot gây duy trì trạng thái điều khiển bám theo đường điều hướng.

Tuy vậy, khi mà đường điều hướng nằm ngoài vùng quan sát của camera hoặc trong các trường hợp không có đường điều hướng cho người mù thì robot gây sẽ phát cảnh báo cho người dùng biết trạng thái xung quanh của môi trường thông qua âm thanh và robot gây sẽ trợ giúp người sử dụng thăng bằng trong khi di chuyển theo chỉ dẫn của người sử dụng.

### 3. Kết luận

Chúng tôi đã thiết kế phần cứng của robot gây dựa trên bánh xe đa hướng bao gồm một camera có bộ điều khiển xử lý tốc độ cao để phát hiện các đường điều hướng của người mù để được hỗ trợ đi bộ.

Các kết quả thử nghiệm trên phần cứng cho thấy robot gây có hiệu quả trong việc giúp người dùng duy trì thăng bằng và người quan sát nhiều loạn phi tuyến của chúng tôi cung cấp một phương pháp tốt để ước tính lực của con người áp dụng cho gây robot để hỗ trợ đi bộ. Hơn nữa, bằng việc sử dụng bộ điều khiển PD cho việc điều khiển chuyển động của robot gây bám theo đường định hướng trợ giúp người mù khi di chuyển thông qua phương pháp xử lý ảnh đã cho kết quả tốt trong điều kiện nhất định góp phần cho sự phát triển của nghiên cứu về sau.

Trong tương lai, chúng tôi có kế hoạch thử nghiệm trong môi trường bên ngoài với các điều kiện môi trường thay đổi, thêm vào đó việc hiệu chỉnh các tham số của bộ điều khiển cho phù hợp với sự thay đổi của các môi trường hoạt động cũng được tiếp tục nghiên cứu và phát triển trong thời gian sắp tới.

### Tài liệu tham khảo

[1] Phi Van Lam and Yasutaka Fujimoto, "Completed Hardware Design and Controller of the Robotic Cane Using the Inverted Pendulum for Walking Assistance", *proc. IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, EF-007862, Edinburgh, 2017.06.

[2] Phi Van Lam and Yasutaka Fujimoto, "Building and Test a Controller of the Robotic Cane for Walking Assistance", *proc. IEEJ International*

*Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON)*, SS2-6, Nagaoka, 2017.03.

[3] Phi Van Lam and Yasutaka Fujimoto, "A Robotic Cane for Balance Maintenance Assistance", *proc. IEEE Transactions on Industrial Informatics*, DOI: 10.1109/TII.2019.2903893, 2019.

[4] Phi Van Lam, "Implementation of inverse perspective mapping algorithm in image processing for the calculation of the speed of traffic vehicles", *proc. National Center for Technological Progress (NACENTECH)*, Ha Noi, 2014.10.

[5] Shotaro Nakagawa and Yasuhisa Hasegawa and Toshio Fukuda and Izumi Kondo and Masanori Tanimoto and Pei Di and Jian Huang and Qiang Huang, "Tandem Stance Avoidance Using Adaptive and Asymmetric Admittance Control for Fall Prevention", *proc. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2016.5, pp 542-550.

[6] Chi Zhu and Masashi Oda and Masayuki Suzuki and Xiang Luo and Hideomi Watanabe and Yuling Yan, "A new type of omnidirectional wheelchair robot for walking support and power assistance", *proc. 2010 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2010.10, doi: 10.1109/IROS.2010.5652805.

[7] Monika Deswal and Neetu Sharma, "A Fast HSV Image Color and Texture Detection and Image Conversion Algorithm", *proc. 2010 International Journal of Science and Research*, 2014.6, pp 2319-7064.



**Phi Văn Lâm**, sinh năm 1988, nhận bằng tốt nghiệp Đại học, Thạc sỹ về tự động hóa của trường Đại học Giao thông vận tải năm 2011, 2014, nhận bằng Tiến sĩ Tự động hóa của trường Đại học Quốc lập Yokohama Nhật Bản năm 2019. Hiện tại là giảng viên bộ môn Điều khiển học, khoa Điện – Điện tử, trường ĐH Giao thông vận tải. Hướng nghiên cứu chính là lý thuyết điều khiển tự động, robotics, IoT, ITS.



**Yasutaka Fujimoto**, sinh năm 1971, nhận bằng Tốt nghiệp Đại học, Thạc sỹ và Tiến sĩ kỹ thuật tại trường Quốc lập Yokohama Nhật Bản lần lượt các năm 1993, 1995, 1998. Hiện tại là Giáo sư tại khoa Điện tử và khoa học máy tính, trường Đại học Quốc lập Yokohama, Nhật Bản. Hướng nghiên cứu chính là truyền động điện, robotics, điều khiển chuyển động.