

Xe tự hành ứng dụng thuật toán nhận dạng và dự đoán quỹ đạo di chuyển

Autonomous vehicles applied with the algorithm of motion trajectory recognition and motion trajectory prediction

Đặng Thái Việt

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Email: viet.dangthai@hust.edu.vn

Mobile: 0989458581

Tóm tắt

Từ khóa:

Xử lý ảnh; Dẫn đường; Điều khiển;
Xe tự hành.

Trong lĩnh vực điều khiển xe không người lái, xe tự hành ứng dụng xử lý ảnh kỹ thuật số thu hút được sự quan tâm và nghiên cứu của nhiều nhà khoa học. Các thành tựu thu được đã góp phần nâng cao chất lượng điều khiển và khả năng thích nghi vào các ứng dụng thực tế đời sống. Bài báo đã trình bày phương pháp điều khiển xe tự hành tích hợp với thuật toán nhận dạng và dự đoán quỹ đạo di chuyển của đối tượng. Mô hình thực nghiệm là xe tự hành bám người đã đảm bảo các tính đúng đắn của phương pháp nghiên cứu lý thuyết.

Abstract

Keywords:

Image processing; Navigation;
Controller; Autonomous vehicle.

In the field of driving unmanned vehicles, autonomous vehicles using digital image processing have attracted the attention and research of various scientists. The achievements have contributed to improving the quality of control and adaptability to real-life applications. The article presents the method of controlling autonomous vehicles integrated with the algorithm of motion trajectory recognition and the prediction. The experimental model is the autonomous vehicle guaranteed the correctness of theoretical research methods.

Ngày nhận bài: 15/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 06/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

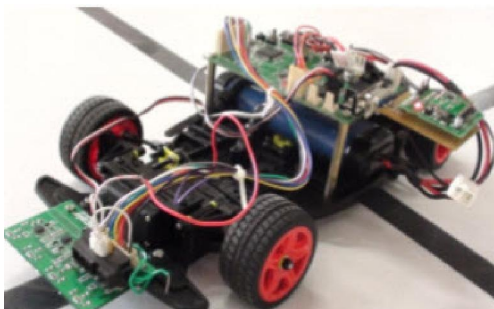
Trong các thập niên gần đây, rất nhiều các hệ thống thị giác được dùng cho dẫn đường xe, cảnh báo làn đường và tránh vật cản đã được quan tâm nghiên cứu và phát triển. Một trong các ví dụ như hãng Daimler-Benz đưa ra mẫu xe VITA II cho phép lái tự động trên đường cao tốc và vượt qua các bài test thử nghiệm mà không cần tương tác với người lái. Hơn nữa, các hãng như Tesla, Uber, Google, Apple,... cũng đang đẩy mạnh việc áp dụng xử lý ảnh trong hệ thống lái xe tự hành khi tham gia giao thông [1-8]. Bên cạnh đó, các mẫu xe tự hành trong lĩnh vực dịch vụ đang trở nên gần gũi trong y tế, siêu thị, trường học,... Dữ liệu quan sát thu được từ camera sẽ được gửi về bộ xử lý trung tâm, kết hợp cùng các dữ liệu từ cảm biến hồng ngoại, siêu âm giúp cho xe có thể đảm bảo lái bám theo các yêu cầu đặt ra về đối tượng, làn đường, và tránh vật cản [2, 7, 8].

Thuật toán nhận dạng ảnh bằng phát hiện đốm màu sắc (blobs detection) phương pháp quan trọng trong lĩnh vực thị giác máy tính. Phương pháp này thông thường là bước đầu tiên trước khi tiến hành các bước phân tích tập hợp các dữ liệu của hình ảnh [1, 6] hay lựa chọn tập hợp các điểm đặc biệt bất biến [1]. Phương pháp phát hiện đốm màu sắc được thực hiện thông qua việc tính toán các cực trị của các đạo hàm trong biểu diễn mô hình toán học tuyến tính của một hình ảnh [1, 3]. Phương pháp nhận dạng vùng màu sắc được thực hiện thông qua biến đổi Laplace các biểu diễn mô hình toán học tuyến tính. Để xác định kích thước vùng nhận dạng màu sắc, bài báo đã đề xuất một cách tiếp cận mới xây dựng đường bao cực đại liên quan đến các điểm cực. Khoảng cách giữa vị trí của giá trị modun cực đại tại hai tập hợp sẽ cho ra bán kính gần đúng của vùng màu sắc. Dựa vào tập hợp các đường bao vùng màu sắc để xác định được đối tượng. Với sự trợ giúp của máy tính, vùng giới hạn màu sắc được xác định bởi tâm và bán kính. Dựa vào véc tơ gia tốc và vận tốc của tâm ảnh di chuyển [3, 4], thuật toán dự đoán chuyển động của đối tượng được phát triển kết hợp với bộ lọc nhiễu giúp tăng độ chính xác trong quá trình điều khiển bám đối tượng thông qua việc nhận dạng hình ảnh đối tượng [5, 6]. Dữ liệu di chuyển của đối tượng theo thời gian thực cơ sở cho điều khiển xe tự hành. Mô hình thực nghiệm và kết quả kiểm nghiệm đã minh chứng cho phương pháp lý thuyết xây dựng.

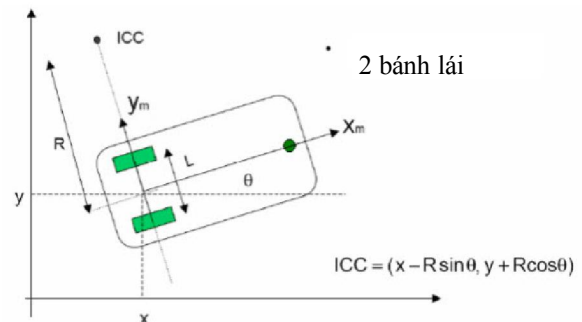
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết kế hệ thống điều khiển cho xe tự hành

Phương án điều khiển lái cho xe phổ biến có 2 phương án: điều khiển lái 1 bánh và điều khiển lái đồng thời 2 bánh. Để đảm bảo yêu cầu chính xác trong di chuyển, phương án lựa chọn là xe tự hành điều khiển vận tốc 2 bánh đồng thời, bánh còn lại làm nhiệm vụ cân bằng cho xe.



a). Mô hình xe tự hành dẫn động 2 bánh



b). Động học của mô hình xe tự hành

Hình 1. Cấu trúc của mô hình xe tự hành

Với $v_r(t)$: vận tốc tuyến tính của bánh phải; $v_l(t)$: vận tốc tuyến tính của bánh trái; $\omega_r(t)$: vận tốc góc của bánh phải; $\omega_l(t)$: vận tốc góc của bánh trái; r : bán kính mỗi bánh xe; L : khoảng cách giữa hai bánh lái; R : bán kính cong tức thời của quỹ đạo robot, liên quan đến trục giữa của xe; ICC: tâm tức thời của đường cong quỹ đạo; $R-L/2$: bán kính cong của quỹ đạo miêu tả bởi bánh trái; $R+L/2$: bán kính cong của quỹ đạo miêu tả bởi bánh phải.

Phương trình động học xe trong không gian xOy như sau:

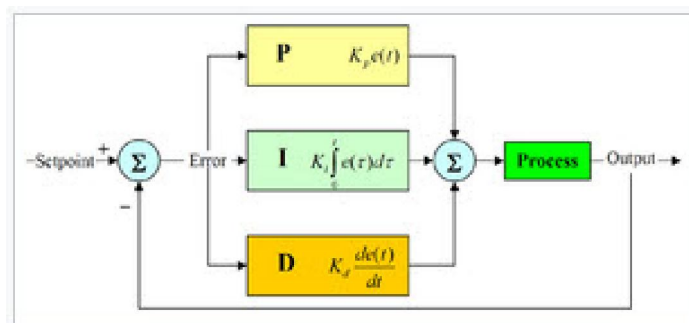
$$\begin{cases} \dot{x}(t) = v(t) \cos \theta(t) \\ \dot{y}(t) = v(t) \sin \theta(t) \\ \dot{\theta}(t) = \omega(t) \end{cases} \quad (1)$$

Xây dựng phương trình tuyến tính mô tả vị trí của xe như sau:

$$\begin{bmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \\ \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v(t)\cos\theta \\ v(t)\sin\theta \\ \omega(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1(t) \\ v_r(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(v_r + v_1)\cos\theta \\ \frac{1}{2}(v_r + v_1)\sin\theta \\ (v_r - v_1)/L \end{bmatrix} \quad (2)$$

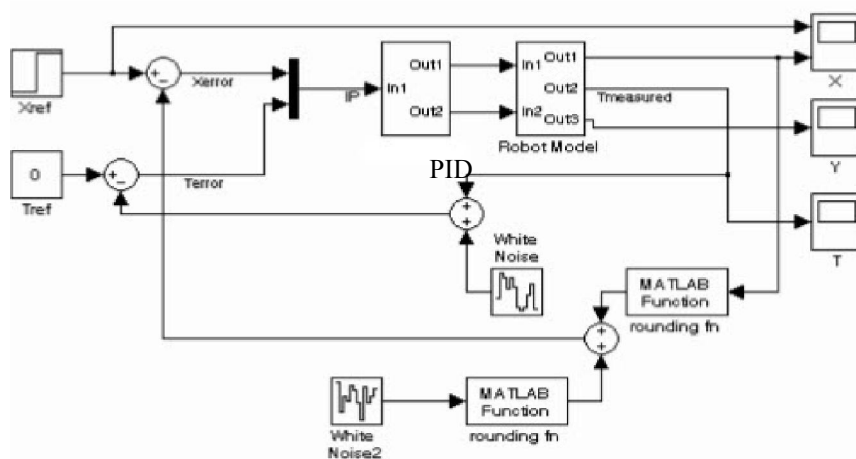
$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\cos\theta & \frac{1}{2}\cos\theta \\ \frac{1}{2}\sin\theta & \frac{1}{2}\sin\theta \\ -1/L & 1/L \end{bmatrix}$$

Luật điều khiển PID được sử dụng cho điều khiển bánh lái, cho phép có thể độc lập điều khiển các bánh riêng biệt. Bộ điều khiển có khả năng triệt tiêu sai số xác lập, tăng tốc độ đáp ứng, giảm độ vọt lố khi các bộ thông số K_P , K_I , K_D được tính chọn phù hợp.



Hình 2. Sơ đồ điều khiển PID

Sau khi có phương trình mô tả của hệ thống, thiết lập sơ đồ điều khiển Matlab-Simulink:

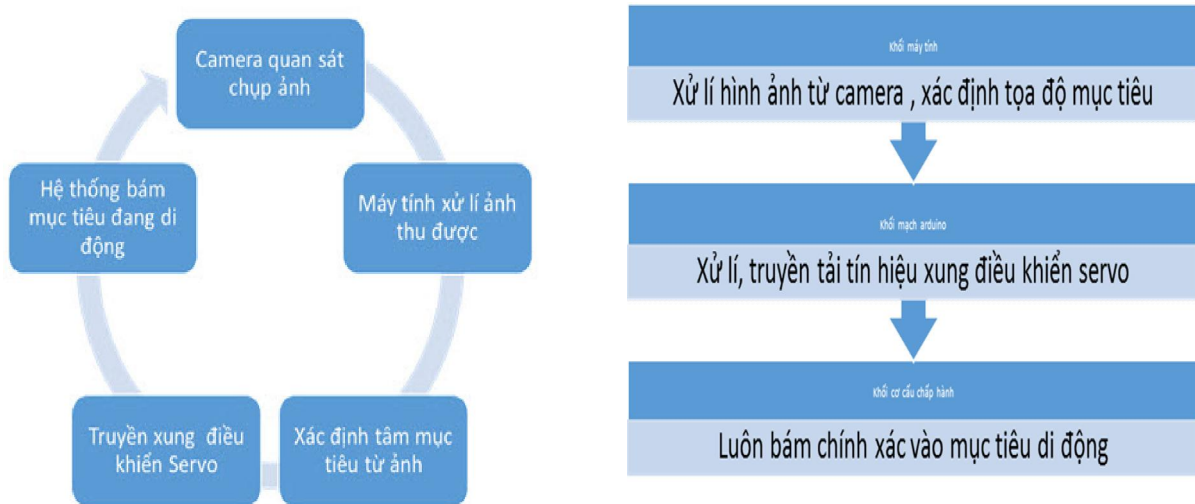


Hình 3. Sơ đồ điều khiển Matlab-Simulink

Để đo xác định trạng thái không gian của robot tác giả lựa chọn cảm biến đo góc MPU-6050. Cảm biến gồm 2 thành phần cơ bản được tích hợp trong mạch là con quay hồi chuyển vi cơ điện tử và gia tốc kế vi cơ điện tử. Khi đo góc bằng dữ liệu thô kết quả sẽ bị nhiễu (White noise) nên dữ liệu sẽ được đưa qua bộ lọc Kalman để lọc bớt các thành phần nhiễu.

2.2. Hệ thống xử lý dữ liệu

Toàn bộ thiết bị được lắp đặt cố định. Khi có vật thể chuyển động trong tầm quan sát của camera Logitech c930e, camera sẽ liên tục chụp ảnh, máy tính sẽ xử lý ảnh chụp thu được và xác định tọa độ mục tiêu. Ngay lập tức động cơ servo quay hệ thống cơ khí vào mục tiêu và bám theo mục tiêu theo thời gian thực. Hệ thống sử dụng máy tính Raspberry pi 3 b+nó chứa thông tin đầu vào bao gồm thông số kỹ thuật hệ thống và dữ liệu xử lý hình ảnh truyền về và dữ liệu truyền đi điều khiển cơ cấu chấp hành, cũng như thông số hỗ trợ các vi điều khiển, nguồn cung cấp cho Raspberry thông dụng 5VDC.



a). Nguyên lý hoạt động của hệ thống xử lý dữ liệu b). Nguyên lý điều khiển bám mục tiêu

Hình 4. Hệ thống xử lý dữ liệu và điều khiển xe

2.2.1. Xác định đường bao đối tượng nhận dạng:

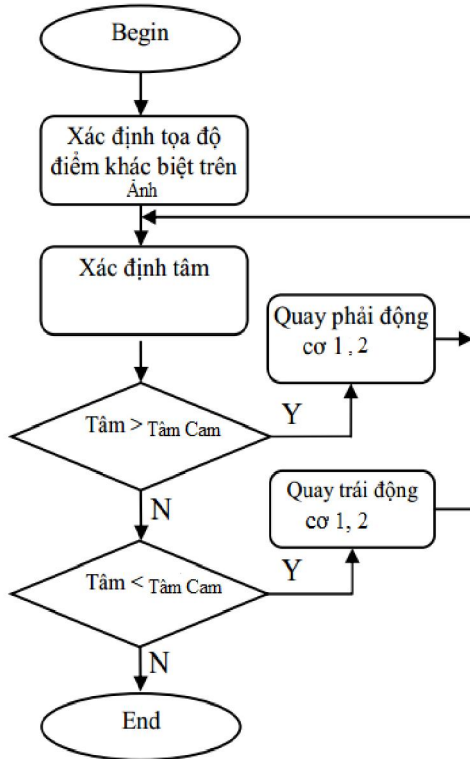
Bài toán bám theo mục tiêu chuyển động, có rất nhiều phương pháp bám mục tiêu nhưng phương pháp thuận tiện và tối ưu nhất đây là dựa vào sự thay đổi vùng chuyển động của mục tiêu. Vật thể chuyển động được khoanh vùng, đóng khung và dùng thuật toán tìm ra tọa độ pixel của tâm mục tiêu. Từ tọa độ đó, qua bước căn chỉnh để chuyển đổi ra tọa độ thực, điều khiển 2 động cơ servo đến đúng vị trí tâm mục tiêu chuyển động. Để tìm ra được tâm vật thể, ta cần là phải tìm ra được đường bao của vật thể, từ đó mới xác định được tâm của đường bao đó. Để có thể xác định được đường bao vật thể, ta sử dụng quy tắc “9 điểm” tại Hình 5.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

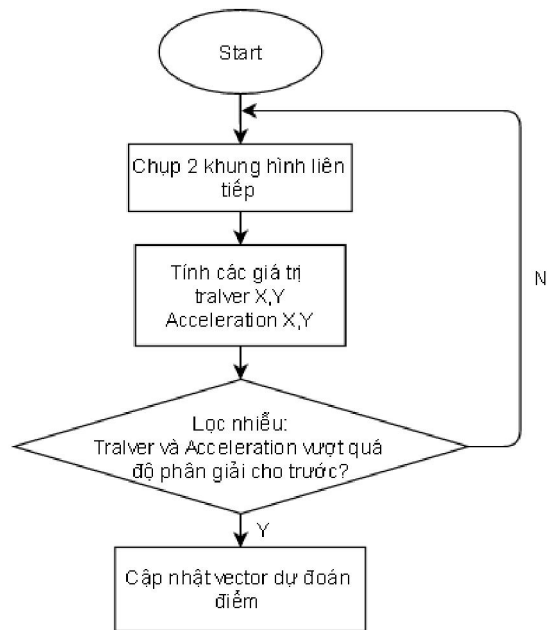
Hình 5. Quy tắc 9 điểm

Theo đó, sau khi xác định được pixel ảnh có độ xám thay đổi theo khung hình, ta sẽ vẽ 1 tập hợp 9 ô tương ứng với 9 pixel ảnh. Tiếp theo ta sẽ so sánh độ xám của các pixel với ô trung tâm số 5 (vị trí pixel có vật chuyển động) có mức xám là 1. Trong 8 ô vuông còn lại, nếu số ô

vuông có mức xám bằng 0 lớn hơn 3 và nằm cạnh nhau thì pixel tại ô số 5 được coi là nằm ở viền vật thể. Ngược lại, nếu số ô vuông có mức xám bằng 0 nhỏ hơn 3 thì pixel tại vị trí số 5 không nằm ở viền vật thể. Từ đó ta có được tập hợp tọa độ đường bao vật thể và sau khi khử nhiễu sẽ tính toán được tâm mục tiêu, ta xác định tọa độ X max, Xmin, Ymax, Ymin của các điểm đó, tọa độ tâm vật thể sẽ là $(X_{max}+X_{min})/2$ và $(Y_{max}+Y_{min})/2$.



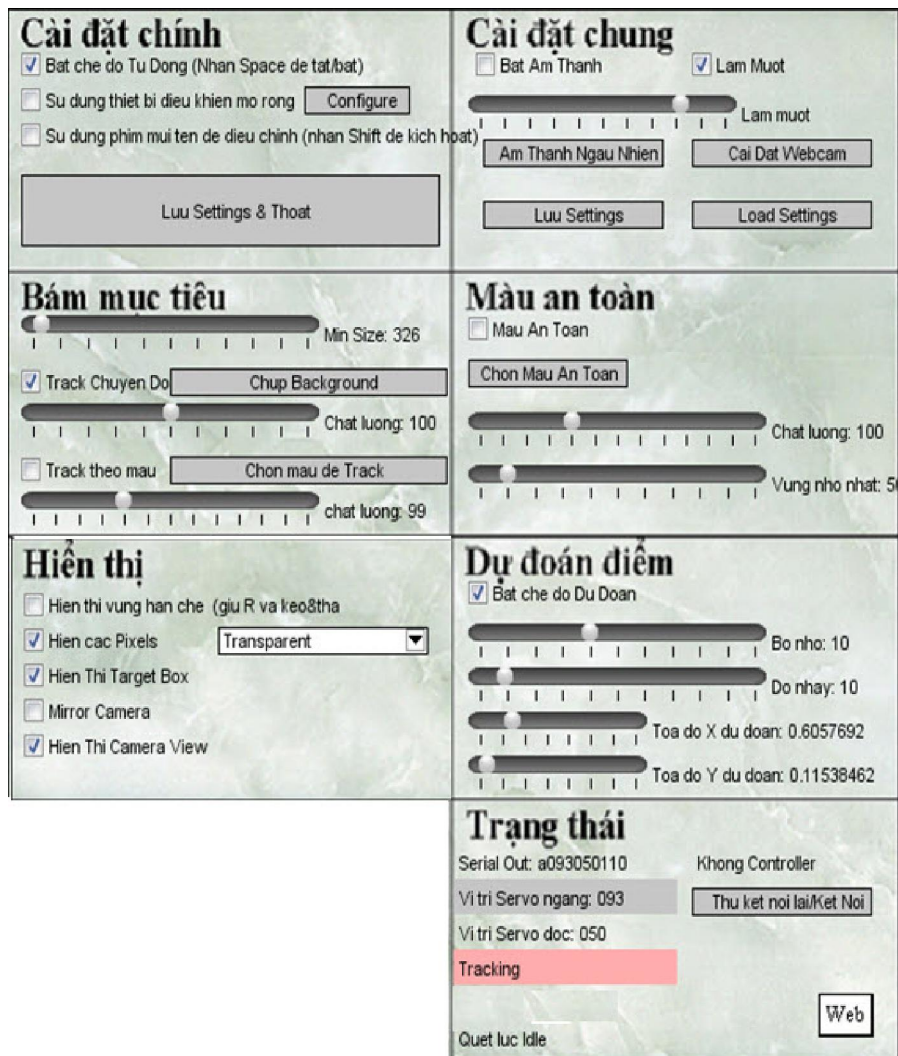
a). Lưu đồ thuật toán bám đối tượng



b). Lưu đồ thuật toán dự đoán chuyển động đối tượng

Hình 6. Lưu đồ thuật toán dữ liệu cơ sở cho điều khiển chuyển động của xe tự hành

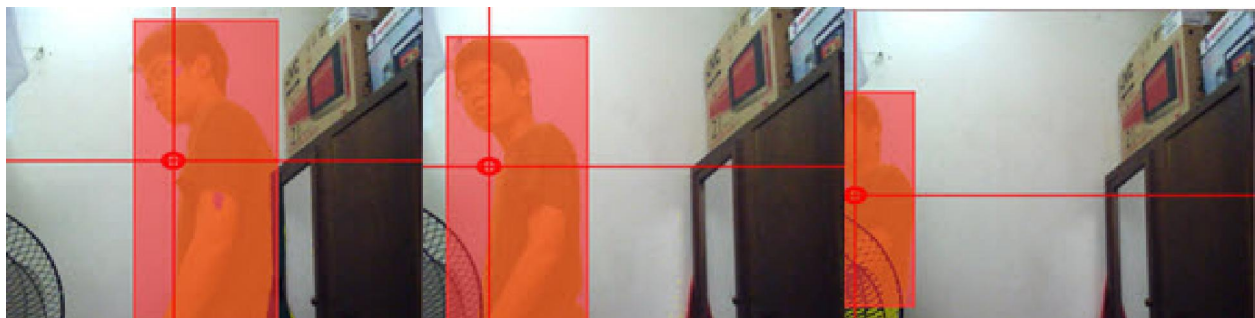
2.2.2. Dự đoán quỹ đạo di chuyển của đối tượng: Sau 2 khung hình, ta tính được vận tốc và gia tốc của vật thể từ 2 giá trị tâm đã có từ đó cập nhật liên tục tọa độ dự đoán chuyển động của vật tại hình 6. Dữ liệu sau khi qua bộ lọc loại bỏ các điểm giá trị đặc biệt, có giá trị vượt quá dải trung bình sẽ được chuyển đổi thành tọa độ x, y trong không gian xOy. Từ đó bộ điều khiển sẽ thiết lập vòng điều khiển kín dòng điện và vị trí cho điều khiển động cơ servo bánh trái và bánh phải với các vận tốc độc lập. Các giá trị về vị trí góc sẽ được điều khiển phản hồi kín đảm bảo độ chính xác về quỹ đạo bám theo đối tượng di chuyển.



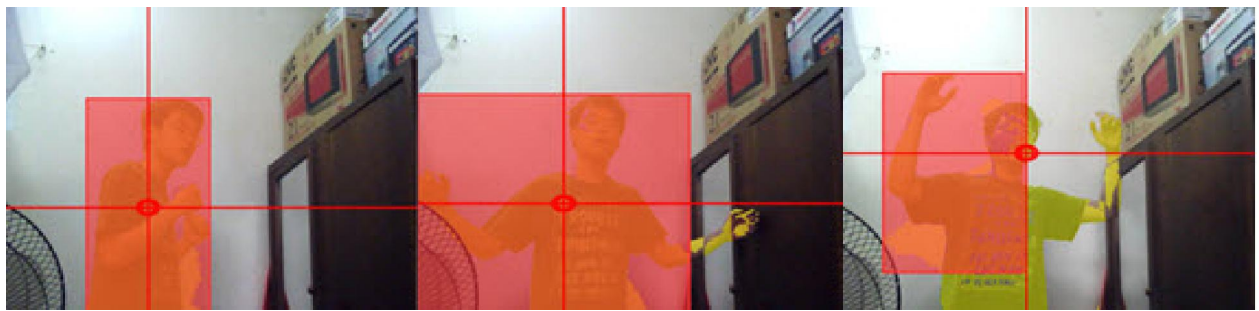
Hình 7. Giao diện tương tác điều khiển người - xe

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Mô hình được lựa chọn kiểm nghiệm với chức năng bám người theo 2 phương dọc và trục diện. Kết quả thu được đảm bảo xác định chính xác đối tượng bám.



a) Nhận dạng bám người theo trục dọc



b) Nhận dạng bám người theo hướng trực diện

Hình 8. Kết quả xử lý dữ liệu bám liên tục theo đối tượng di chuyển

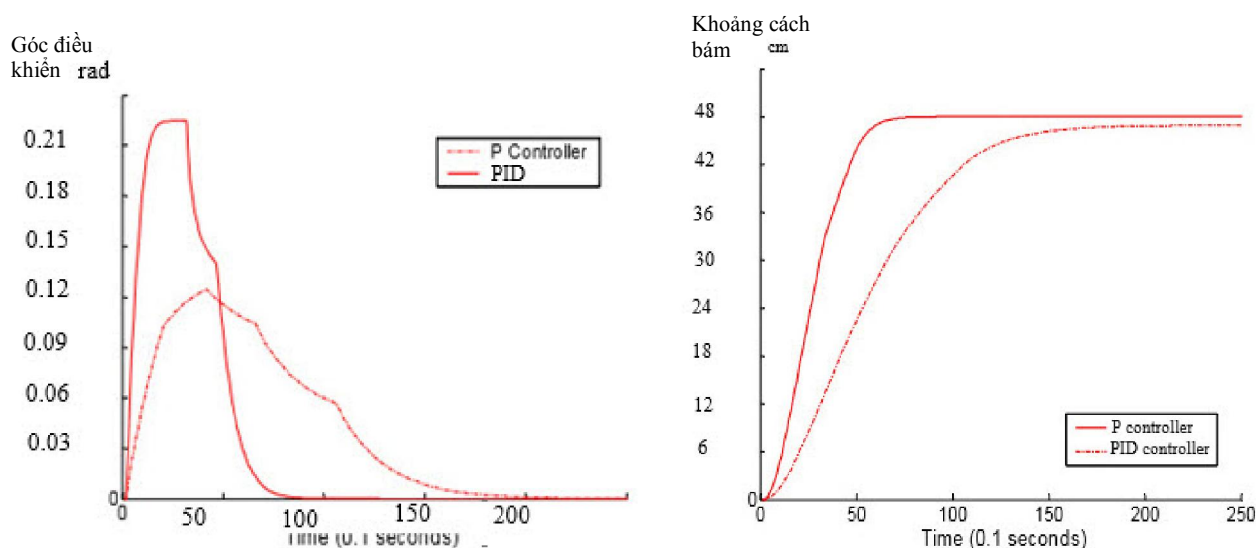
Khi thay đổi đối tượng bám, ví dụ một cuốn sổ hay một thẻ đặc thù có đường bao và màu sắc, hệ thống đảm bảo khả năng nhận dạng và bám chuyển động đối tượng.



Hình 9. Kết quả bám theo đối tượng smartphone người sử dụng

Dựa trên kết quả thực nghiệm trên hình 8, đảm bảo cho việc xác định chính xác đối tượng chuyển động là người theo phương dọc và trực diện, kết quả được sử dụng cho các bài toán xe tự hành bám đối tượng chuyển động phục vụ trong siêu thị, bệnh viện, sân bay. Kết quả bám theo đường bao và màu sắc của hình số 9 được sử dụng khi thay vì truy bắt người thì có thể chọn mỗi đối tượng điển hình có nét đặc thù, điều này làm giảm khối lượng tính toán và tăng khả năng điều khiển cho xe tự hành khi truy bắt đối tượng kết hợp xử lý dữ liệu quỹ đạo di chuyển.

Hình 10 mô tả kết quả so sánh giữa bộ điều khiển PID và P với chuyển động của xe. Xe tự hành xuất phát từ gốc tọa độ xOy đảm bảo chuyển động bám theo đối tượng chuyển động. Với hình 10a là góc lệch tương ứng với bộ điều khiển và hình 10b là khoảng cách từ xe đến vị trí xác định cách 48 cm với đối tượng di chuyển. Kết quả đánh giá chất lượng bộ điều khiển PID cho sự linh hoạt về góc điều khiển và khả năng đáp ứng nhanh hơn so với bộ điều khiển P. Kết quả này rất cần thiết cho quá trình điều khiển và xử lý thời gian thực với xe tự hành bám đối tượng áp dụng xử lý ảnh kỹ thuật số.



a) So sánh góc đáp ứng điều khiển

b) So sánh về khoảng cách bám đối tượng

Hình 10. Kết quả so sánh trong điều khiển xe tự hành với bộ điều khiển P và PID

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp điều khiển xe tự hành tích hợp với thuật toán nhận dạng và dự đoán quỹ đạo di chuyển của đối tượng. Việc sử dụng camera kỹ thuật số trong việc xây dựng bộ cơ sở dữ liệu trong dẫn đường và điều khiển xe tự hành đang được sử dụng rộng rãi và phát triển mạnh gần đây. Các kết quả thực nghiệm còn phụ thuộc vào khả năng xử lý của máy tính nhúng raspberry sử dụng cũng như thuật toán và khả năng lọc bỏ các dữ liệu nhiễu đầu vào. Với kết quả thu được cho phép việc áp dụng và phối hợp camera 3D và các hệ thống cảm biến quanh xe nêu phát triển tốt hoàn toàn khả thi khi áp dụng vào các mô hình hệ thống xe tự hành thực tế khi tham gia hoạt động giao thông hiện nay.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.03-2013.15.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. I. Kageyama, T. Sasaki. 1996. A study on Image Processing Technology for Autonomous Vehicle, *IEEE Conference on Intelligent Vehicles – Tokyo, Japan*.
- [2]. Ito, K.; Ohara, M.; Takahashi, Y.; Mizukami, R.; Obinata, H.; Watanabe, H.; Kobayashi, K.; Watanabe, Kajiro. 1998. Development of unmanned autonomous vehicle control system based on 1D image sensor, *Proceeding of 1998 SAE International Congress & Exposition Conference, Detroit, MI, USA*, 31-38.
- [3]. M. Sugisaka, X. Wang, J. J. Lee. 1998. Intelligent control with new image processing strategy for a mobile vehicle, *IEEE Intelligent Vehicles '92 Symposium - Detroit, MI, USA*, 113-118.

[4]. H. Modi, N. V. Shastri, M. H. Shastri. 2015. Obstacle Avoidance System in Autonomous Ground Vehicle using Ground Plane Image Processing and Omnidirectional Drive, *International Conference on Computing Communication Control and Automation*, 594-598.

[5]. S. Shoval, I. Zeitoun and E. Lenz. 1997. Implementation of a Kalman filter in positioning for autonomous vehicles, and its sensitivity to the process parameters, *Int J Adv Manuf Technol*, 13,738-746.

[6]. C. Wöhler; J.K. Anlauf. 2001. Real-time object recognition on image sequences with the adaptable time delay neural network algorithm, *Image and Vision Computing*, 19, 593-618.

[7]. C. Wöhler; J.K. Anlauf. 1998. Straight-Line Motion Control for Autonomous Land Vehicles Using 2D Image Processing Techniques, *Journal of Robotic Systems*, 15(10), 537-549.

[8]. C. Wöhler; J.K. Anlauf. 1998. Towards Vision-Based Autonomous Landing for Small Unmanned Aerial Vehicles: Image Processing Hardware Development, *Journal of Aerospace computing, Information and Communication*, 5, 380-395.