

THIẾT KẾ MÔ HÌNH XE NGUYÊN MẪU CHO XE TỰ LÁI ĐƯỢC TRANG BỊ HỆ THỐNG ADAS

PROTOTYPE MODEL CAR DESIGN FOR AUTONOMOUS VEHICLES EQUIPPED WITH ADAS SYSTEMS

TS. Phạm Hữu Truyền^{1,*}, ThS. Tô Ngọc Thiện², ThS. Nguyễn Văn Đại¹,
ThS. Phạm Văn Thống¹

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

²Trường Đại học Điện lực

Email: phtruyen2019@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày quá trình thiết kế và phát triển một mô hình xe nguyên mẫu chi phí thấp cho xe tự lái có tích hợp một số chức năng cơ bản của hệ thống hỗ trợ lái xe tiên tiến (ADAS). Mô hình được xây dựng theo hướng mô-đun nhằm phục vụ nghiên cứu và đào tạo về điều khiển chuyển động, bám làn, duy trì khoảng cách an toàn, tránh va chạm và khả năng mở rộng truyền thông giữa các xe. Hệ thống phần cứng của xe gồm vi điều khiển Arduino Mega 2560 + CH340, mạch điều khiển động cơ L9110S, cảm biến khoảng cách hồng ngoại SHARP GP2Y0A21YK0F, cảm biến dò line 3 kênh, cảm biến tốc độ hồng ngoại dùng bộ so sánh LM393 và encoder quang. Về phần mềm, hệ thống được lập trình trên nền tảng Arduino IDE bằng ngôn ngữ C/C++, trong đó dữ liệu từ các cảm biến được thu thập, xử lý và chuyển thành tín hiệu điều khiển động cơ theo thời gian thực. Kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình có khả năng phát hiện vật cản phía trước, điều chỉnh vận tốc và giữ khoảng cách an toàn trong môi trường phòng thí nghiệm. Mô hình đề xuất có ưu điểm chi phí thấp, cấu trúc đơn giản, dễ triển khai, phù hợp cho các nghiên cứu bước đầu về xe thông minh và xe tự hành.

Từ khóa: Hệ thống hỗ trợ lái xe tiên tiến; Hệ thống điều khiển thích nghi hành trình; Xe thông minh; Xe tự hành; Robot di động tự hành.

ABSTRACT

This paper presents the design and development of a low-cost prototype model car for autonomous vehicles equipped with basic Advanced Driver Assistance System (ADAS) functions. The proposed model is developed in a modular manner for research and educational purposes in motion control, lane following, safe-distance keeping, collision avoidance, and possible vehicle-to-vehicle communication expansion. The hardware system includes an Arduino Mega 2560 + CH340 microcontroller, an L9110S motor driver, a SHARP GP2Y0A21YK0F infrared distance sensor, a 3-channel line tracker sensor, and an infrared speed sensor using an LM393 comparator with an optical encoder. The software is implemented on Arduino IDE using C/C++, where sensor data are acquired, processed, and converted into motor control signals in real time. Experimental results

indicate that the prototype can follow detect obstacles ahead, regulate its speed, and maintain a safe distance in an indoor laboratory environment. The proposed model is low-cost, simple in structure, and suitable for preliminary studies on smart cars and autonomous vehicles.

Keywords: ADAS; ACC; Smart car; Autonomous vehicle; Autonomous mobile robots.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, xe tự hành và các hệ thống hỗ trợ lái xe tiên tiến ngày càng giữ vai trò quan trọng trong giao thông thông minh. Các hệ thống này không chỉ hướng đến nâng cao an toàn vận hành mà còn góp phần cải thiện năng lực lưu thông, giảm ùn tắc, giảm tiêu hao năng lượng và tăng mức độ tiện nghi cho người sử dụng. Trong đó, các bài toán cốt lõi thường gặp là điều khiển dọc, điều khiển ngang, bám làn, duy trì khoảng cách, tránh va chạm và phối hợp giữa các phương tiện trong đội hình chuyển động [1], [2].

Một hướng nghiên cứu được quan tâm là sử dụng các mô hình xe thu nhỏ trong phòng thí nghiệm để kiểm chứng thuật toán điều khiển và đánh giá khả năng tích hợp cảm biến. Cách tiếp cận này có ưu điểm là chi phí thấp, an toàn, dễ tái cấu hình và phù hợp với môi trường đào tạo cũng như nghiên cứu ban đầu. Nhiều công trình đã cho thấy mô hình xe nguyên mẫu có thể được xây dựng theo dạng xe bám làn, có cảm biến khoảng cách, cảm biến tốc độ, truyền thông vô tuyến và khả năng ghi nhận dữ liệu thực nghiệm để phân tích ngoại tuyến [1], [2].

Bên cạnh đó, các nghiên cứu về giao tiếp giữa các xe cho thấy truyền thông V2V là thành phần quan trọng của hệ thống giao thông thông minh. Thông tin về vận tốc, tình trạng giao thông hoặc cảnh báo an toàn có thể được trao đổi giữa các xe để hỗ trợ ra quyết định điều khiển nhanh hơn. Các thử nghiệm trên nền tảng Arduino cho thấy WiFi có thể được sử dụng như một giải pháp khả thi cho truyền thông

giữa các xe ở quy mô mô hình [4], [5].

Xuất phát từ các cơ sở trên, bài báo này đề xuất thiết kế một mô hình xe nguyên mẫu cho xe tự lái được trang bị các chức năng ADAS cơ bản. Mục tiêu của mô hình là bám làn, phát hiện vật cản phía trước, giữ khoảng cách an toàn và điều chỉnh vận tốc phù hợp trong môi trường thực nghiệm trong nhà. Hướng thiết kế được lựa chọn là chi phí thấp, cấu trúc mô-đun, dễ chế tạo và dễ mở rộng cho các nghiên cứu tiếp theo về ACC, V2V hoặc IoT giám sát phương tiện.

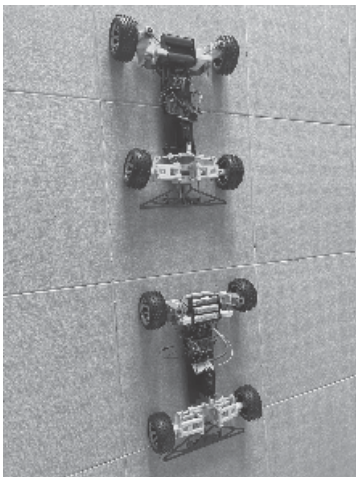
2. THIẾT KẾ KHUNG XE

Khung xe được thiết kế theo hướng đối xứng trái – phải, sử dụng bốn bánh xe song song, phù hợp với thử nghiệm trong phòng thí nghiệm như trong hình 1. Đây là cấu trúc đơn giản, thuận lợi cho việc bố trí cảm biến, pin, mạch điều khiển và các mô-đun truyền thông. Theo các nghiên cứu tham khảo, mô hình xe dạng thu nhỏ có thể được chế tạo bằng phương pháp thiết kế CAD và in 3D như trong hình 2 để bảo đảm tính lặp lại, khả năng thay thế linh kiện và dễ hiệu chỉnh trong quá trình thử nghiệm.

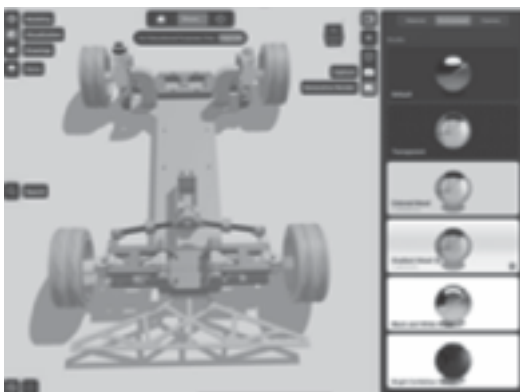
Đối với mô hình được đề xuất, thân xe được chia thành các cụm chính: cụm đầu xe, cụm giữa và cụm đuôi. Phía trước thân xe như trong hình 3 bố trí cảm biến dò làn và cảm biến khoảng cách để nhận biết làn đường cũng như phát hiện xe hoặc vật cản phía trước. Phần giữa bố trí bo mạch điều khiển, nguồn pin và các dây kết nối nhằm rút ngắn đường tín hiệu. Phần

sau bố trí động cơ điện, cảm biến tốc độ và các cơ cấu truyền động như trong hình 4. Cách bố trí này giúp giảm nhiều dây dẫn, thuận lợi cho việc kiểm tra, bảo trì và mở rộng phần cứng sau này.

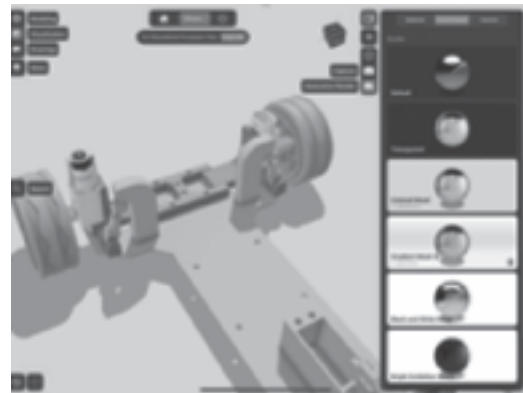
Mô hình làm việc chủ yếu trong môi trường trong nhà nên sử dụng nguồn pin Li-ion hoặc LiPo là phù hợp nhờ khối lượng nhỏ, khả năng cấp dòng tương đối tốt và thuận tiện cho việc nạp lại nhiều lần. Với cấu trúc bốn bánh, việc đổi hướng chuyển động có thể được thực hiện thông qua chênh lệch vận tốc giữa các bánh hoặc giữa hai phía của xe, phù hợp với nguyên lý điều khiển cơ bản cho robot di động tự hành chi phí thấp.



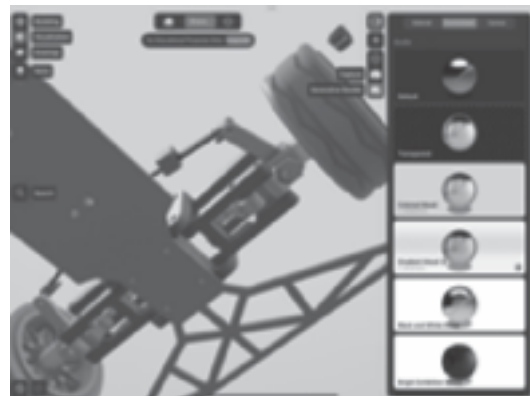
Hình 1. Mô hình xe tự lái



Hình 2. Hình 3D mô hình xe nguyên mẫu

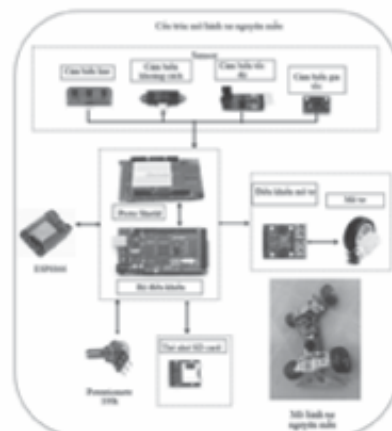


Hình 3. Hình 3D mặt sau của mô hình xe nguyên mẫu



Hình 4. Hình 3D mặt trước của mô hình xe nguyên mẫu.

3. THIẾT KẾ PHẦN CỨNG



Hình 5. Cấu trúc phần cứng của mô hình xe nguyên mẫu.



3.1. Bộ vi xử lý

Như trong hình 5, bộ điều khiển trung tâm của mô hình là Arduino Mega 2560 + CH340 sử dụng vi điều khiển ATmega2560. Vi điều khiển này có số lượng chân vào/ra số và tương tự lớn, phù hợp với mô hình có nhiều cảm biến và cơ cấu chấp hành. Đây là lựa chọn thích hợp cho các nghiên cứu thực nghiệm ban đầu vì dễ lập trình, tài nguyên phần cứng tương đối phong phú và tương thích tốt với môi trường Arduino IDE. Trong các nghiên cứu tham khảo về xe nguyên mẫu platooning, Arduino Mega 2560 cũng được dùng để điều khiển mô hình xe tự hành chi phí thấp.

3.2. Module điều khiển động cơ L9110S

Mạch L9110S như trong hình 6 là module điều khiển động cơ hai kênh, kích thước nhỏ gọn, phù hợp với các mô hình xe điện công suất nhỏ. Mỗi kênh có thể điều khiển một động cơ DC với dòng liên tục xấp xỉ 800 mA, cho phép điều khiển đồng thời tốc độ và chiều quay của hai động cơ. Module có thể hoạt động trong dải điện áp từ 2,5 V đến 12 V nên phù hợp với cả hệ thống 3,3 V và 5 V. Tốc độ động cơ được thay đổi bằng tín hiệu PWM, còn chiều quay được điều khiển thông qua tín hiệu số tại các chân điều khiển của driver.



Hình 6. Kiểm tra Module điều khiển động cơ L9110S.

3.3. Cảm biến khoảng cách

Để thực hiện chức năng duy trì khoảng cách an toàn và hỗ trợ tránh va chạm, mô hình sử dụng cảm biến khoảng cách hồng ngoại SHARP GP2Y0A21YK0F. Cảm biến này có ngõ ra tương tự và dải đo phù hợp trong khoảng 10 cm đến 80 cm, đáp ứng yêu cầu của mô hình ADAS trong không gian thí nghiệm nhỏ. Trong các hệ thống xe platooning, thông tin khoảng cách tới xe phía trước là biến quan trọng để bộ điều khiển ra lệnh giảm tốc, tăng tốc hoặc dừng khẩn cấp khi cần thiết.

3.4. Cảm biến dò line

Để thực hiện điều khiển bám làn, mô hình sử dụng cảm biến dò line 3 kênh. Mỗi kênh gồm một cặp phát/thu hồng ngoại dùng để nhận biết sự khác biệt phản xạ giữa nền trắng và vạch đen. Khi cảm biến nằm trên nền trắng, ánh sáng hồng ngoại phản xạ về đầu thu nhiều hơn nên ngõ ra ở mức HIGH; khi cảm biến nằm trên vạch đen, khả năng phản xạ giảm nên ngõ ra chuyển về mức LOW. Nhờ đó, bộ điều khiển có thể xác định xe đang lệch trái, lệch phải hay ở đúng vị trí mong muốn so với vạch dẫn hướng.

Cảm biến dò line đóng vai trò đầu vào cho khối điều khiển ngang, tức là điều khiển hướng chuyển động của xe theo quỹ đạo định sẵn. Trong các mô hình xe platooning dạng bám line, cách tiếp cận này thay thế cho các hệ thống cảm nhận làn đường phức tạp hơn như camera hoặc GPS, qua đó giảm chi phí và đơn giản hóa thử nghiệm trong phòng thí nghiệm.

3.5. Cảm biến tốc độ bánh xe

Để đo vận tốc quay của bánh xe thể hiện như trong hình 6 và phục vụ điều khiển tốc độ, mô hình sử dụng cảm biến tốc độ hồng

ngoại với bộ so sánh LM393 kết hợp encoder quang. Một đĩa quang có các khe được gắn lên trục bánh xe; cặp phát/thu quang được đặt ở hai bên đĩa. Khi đĩa quay, ánh sáng đi qua các khe sẽ tạo ra chuỗi xung số tại chân D0. Tần số xung thu được tỉ lệ với vận tốc quay của bánh xe, từ đó có thể tính được vận tốc góc và suy ra vận tốc chuyển động của xe.

Thông tin tốc độ là thành phần cần thiết cho các bài toán điều khiển dọc, duy trì khoảng cách và đồng bộ vận tốc giữa các xe trong đội hình. Ngoài ra, tín hiệu encoder còn giúp đánh giá chất lượng đáp ứng của động cơ, hỗ trợ hiệu chỉnh tham số điều khiển và giám sát sai lệch giữa vận tốc đặt với vận tốc thực tế.

4. PHẦN MỀM

Phần mềm điều khiển được xây dựng trên nền tảng Arduino IDE bằng ngôn ngữ C/C++. Môi trường này cung cấp trình soạn thảo mã nguồn, vùng thông báo, cửa sổ console và các công cụ nạp chương trình trực tiếp xuống vi điều khiển. Trong mô hình hiện tại, Arduino Mega 2560 + CH340 đóng vai trò trung tâm thu nhận dữ liệu từ cảm biến khoảng cách, cảm biến dò line, cảm biến tốc độ và các mô-đun phụ trợ để đưa ra lệnh điều khiển động cơ thông qua driver L9110S.

Cấu trúc chương trình gồm hai hàm bắt buộc là setup() và loop(). Hàm setup() chỉ được thực hiện một lần khi hệ thống khởi động hoặc reset, dùng để cấu hình chế độ hoạt động của các chân I/O, khởi tạo truyền thông nối tiếp và thiết lập các ngưỡng ban đầu cho cảm biến. Hàm loop() được thực hiện lặp liên tục, trong đó chương trình lần lượt đọc tín hiệu cảm biến, đánh giá trạng thái bám line, tính toán khoảng cách tới vật cản, xử lý tín hiệu tốc độ và phát sinh xung PWM điều khiển động cơ.

Về nguyên lý điều khiển, phần mềm được tổ chức theo chu trình cảm nhận – xử lý – tác động. Khi cảm biến dò line nhận thấy xe lệch khỏi vạch dẫn hướng, bộ điều khiển sẽ điều chỉnh chênh lệch tốc độ giữa hai phía bánh xe để đưa xe trở lại quỹ đạo mong muốn. Khi cảm biến khoảng cách phát hiện vật cản hoặc xe phía trước tiến vào vùng không an toàn, vận tốc được giảm dần; trong trường hợp khoảng cách giảm xuống dưới ngưỡng bảo vệ, hệ thống phát lệnh dừng. Tư duy điều khiển này phù hợp với các chức năng ADAS mức cơ bản như hỗ trợ giữ làn và hỗ trợ duy trì khoảng cách an toàn.

Ngoài ra, nếu mở rộng hệ thống theo hướng kết nối, mô hình có thể tích hợp thêm mô-đun WiFi hoặc ESP8266/WeMos để truyền dữ liệu trạng thái xe lên máy tính, điện thoại hoặc máy chủ cục bộ. Các nghiên cứu liên quan cho thấy cách tiếp cận này cho phép triển khai truyền thông V2V hoặc IoT với các thông điệp an toàn ngắn, dữ liệu vận tốc và thông tin giám sát trong phạm vi thí nghiệm.

5. THIẾT LẬP THỰC NGHIỆM

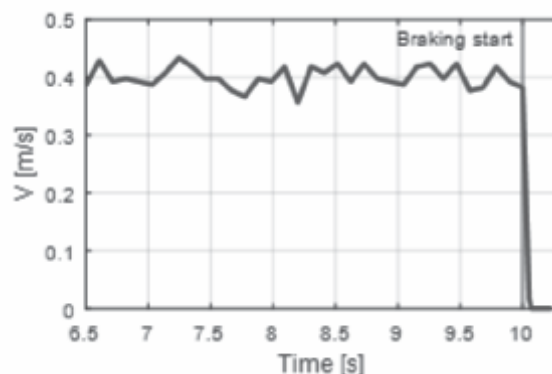
Kết quả thử nghiệm cho thấy cảm biến khoảng cách hồng ngoại cho phép nhận biết vật cản trong vùng làm việc phù hợp, từ đó tạo ra phản ứng giảm tốc hoặc dừng xe trước khi xảy ra va chạm. Cảm biến tốc độ sử dụng encoder quang tạo ra chuỗi xung tương đối ổn định, đủ để suy ra vận tốc quay và làm tín hiệu phản hồi cho bộ điều khiển. Nhìn chung, mô hình đáp ứng được yêu cầu thực nghiệm ở mức cơ bản cho một nền tảng ADAS thu nhỏ.

Đối với hình 7 biểu diễn quan hệ vận tốc – thời gian, có thể nhận thấy trong khoảng từ khoảng 6,5 s đến ngay trước thời điểm 10 s, vận tốc của xe được duy trì tương đối ổn định quanh giá trị xấp xỉ 0,40 m/s. Biên độ dao động

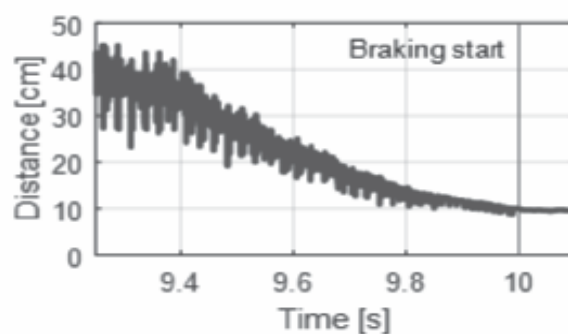
của đường cong nhỏ, cho thấy tín hiệu điều khiển động cơ và tín hiệu phản hồi từ cảm biến tốc độ hoạt động khá ổn định trong giai đoạn xe chạy theo làn. Tại thời điểm được đánh dấu là “Braking start”, vận tốc giảm rất nhanh từ giá trị ổn định về gần 0 m/s. Diễn biến này chứng tỏ bộ điều khiển đã phản ứng kịp thời khi nhận được tín hiệu cảnh báo khoảng cách không còn an toàn, đồng thời khả năng hãm của mô hình là đủ nhanh để tránh va chạm trong môi trường thí nghiệm.

Đối với hình 8 biểu diễn khoảng cách – thời gian, khoảng cách từ xe đến vật cản giảm dần từ khoảng 35-40 cm xuống còn xấp xỉ 10 cm khi xe tiến gần vật cản. Mặc dù tín hiệu có xuất hiện dao động, đặc biệt ở giai đoạn đầu, xu hướng chung vẫn là giảm đều theo thời gian; đây là hiện tượng phù hợp với đặc tính của cảm biến hồng ngoại khi đo trong cự ly ngắn và có nhiễu nhất định từ bề mặt phản xạ. Khi khoảng cách giảm đến ngưỡng cài đặt, hệ thống kích hoạt lệnh phanh, thể hiện bằng vạch đánh dấu thời điểm bắt đầu hãm. Sau thời điểm này, khoảng cách gần như không giảm thêm đáng kể, chứng tỏ xe đã dừng lại trước vật cản và chức năng duy trì khoảng cách an toàn của mô hình đã hoạt động đúng như yêu cầu thiết kế.

Tuy nhiên, cũng cần lưu ý rằng độ chính xác của cảm biến IR có thể giảm khi làm việc trong điều kiện ánh sáng mạnh, bề mặt phản xạ cao hoặc độ ẩm lớn. Vì vậy, các phép thử nên được thực hiện trong môi trường trong nhà có điều kiện chiếu sáng tương đối ổn định để bảo đảm độ tin cậy của kết quả. Đây cũng là lý do mô hình được định hướng chủ yếu cho phòng thí nghiệm.



Hình 7. Tốc độ của xe phía sau



Hình 8. Khoảng cách giữa các xe khi có xe khác phía trước trên đường.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một giải pháp thiết kế mô hình xe nguyên mẫu cho xe tự lái có tích hợp các chức năng ADAS cơ bản trên nền tảng phần cứng chi phí thấp. Cấu trúc này bảo đảm tính đơn giản, dễ lắp ráp, dễ lập trình và thuận tiện cho việc thử nghiệm trong môi trường trong nhà.

Kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình có thể thực hiện các chức năng cốt lõi gồm bám làn, phát hiện vật cản phía trước, điều chỉnh vận tốc và duy trì khoảng cách an toàn. Do đó, mô hình có thể được sử dụng như một nền tảng phù hợp cho nghiên cứu và đào tạo về xe thông minh, robot di động tự hành, điều khiển dọc – ngang và các bài toán ADAS quy mô nhỏ.

Trong tương lai, hệ thống có thể được mở rộng bằng cách bổ sung cảm biến ở hai bên thân xe, tích hợp camera hoặc LiDAR, tăng cường truyền thông V2V/IoT, và triển khai các thuật toán điều khiển tiên tiến hơn như ACC hoặc MPC nhằm nâng cao độ tin cậy và mức độ tự hành của mô hình. Đây là hướng phát triển phù hợp cho các nền tảng xe nguyên mẫu và robot tránh vật cản.

Lời cảm ơn:

Công trình này được tài trợ thông qua đề tài: “Nghiên cứu chiến lược điều khiển khoảng cách giữa các phương tiện tự lái được kết nối thông tin”, Mã số: CB2025-10.❖

Ngày nhận bài: **12/5/2026**

Ngày phản biện: **28/5/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lupu, C., Mihai, C.C., Secuianu, F.D. and Petrescu, C. (2018, October), “Fast disturbance rejection in MIMO process based on algorithms switching”. In: 2018 22nd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), pp. 469-473), IEEE.
- [2]. Wen, Shixi, and Ge Guo, “Cooperative control and communication of connected vehicles considering packet dropping rate”. International Journal of Systems Science 49, no. 13 (2018): pp. 2808-2825.
- [3]. Adhvaryu, A.D. (2005, April), “Obstacle-avoiding robot with IR and PIR motion Sensors”. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 247, pp. 529-551.
- [4]. Memon, A., Shaikh, F.K. and Felemban, E. (2015, May), “Experimental evaluation of vehicle-to-vehicle based data transfer”. In: 2015 International Conference on Information and Communication Technology Research (ICTRC), pp. 274-277, IEEE.
- [5]. Zahid, I.M., Hasib, M.H.H., Rahaman, I., Islam, M.Z. and Rashid, M.M. (2019, December), “Smart vehicle protocol monitoring system by the internet of things platform”. In: 2019 4th International conference on electrical information and communication technology (EICT), pp. 1-4, IEEE.