

XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG HỆ THỐNG PHANH THÔNG MINH TRÊN XE DU LỊCH ỨNG DỤNG MATLAB-SIMULINK

BUILDING A MODEL OF INTELLIGENT BRAKE SYSTEM ON VEHICLE USING MATLAB-SIMULINK

VŨ HẢI QUÂN^{1*}, NGUYỄN XUÂN TUẤN¹, LÊ ĐÌNH NGHIÊM²,
NGUYỄN MINH TIẾN¹, TRƯƠNG VĂN MINH TÚ¹

¹Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam,

*Email liên hệ: quanvh@hau.edu.vn

Tóm tắt

Nghiên cứu này tiến hành phân tích nguyên lý làm việc của hệ thống phanh tự động, xây dựng mô hình phát hiện chướng ngại vật sử dụng cảm biến siêu âm, mô hình hệ thống phanh tự động ứng dụng thuật điều khiển logic mờ cho hệ thống nhằm phát hiện tình trạng bó cứng bánh xe và cảnh báo va chạm đã phát triển bằng cách sử dụng phần mềm Matlab - Simulink để đạt hiệu quả phanh tốt nhất, tỷ lệ trượt tối ưu và khoảng cách và thời gian dừng xe ngắn hơn. Kết quả cho thấy khoảng cách và thời gian dừng được cải thiện hơn so với khi không sử dụng bộ điều khiển.

Từ khóa: Hệ thống phanh tự động, Hệ thống phanh tự động khẩn cấp, IBS, AEB.

Abstract

This study analyzes the working principle of the automatic braking system, designs an obstacle detection model using ultrasonic sensors, and models an automatic braking system using the rules in the controller: fuzzy logic for the system to detect the possibility of wheel locking and simulate hypothetical situations using Matlab - Simulink software to achieve high braking torque, optimum slip ratio and distance and shorter stopping times. The results show that the distance and stopping time are improved compared to when the controller is not used.

Keywords: Automatic brake system, Automatic emergency braking system, IBS, AEB.

1. Mở đầu

Cơ cấu phanh là cơ cấu an toàn chủ động của ô tô, dùng để giảm tốc độ hay dừng và đỗ ô tô trong những trường hợp cần thiết. Nền công nghiệp ô tô đang ngày càng phát triển mạnh, số lượng ô tô tăng nhanh, mật độ lưu thông trên đường ngày càng lớn. Thế hệ xe ô

tô ngày nay được thiết kế với công suất cao hơn, tốc độ di chuyển nhanh hơn thì yêu cầu đặt ra với cơ cấu phanh cũng càng cao và nghiêm ngặt hơn. Tổ chức Y tế Thế giới [1] báo cáo rằng tổng số ca tử vong do giao thông đường bộ trên toàn thế giới đã lên tới 1,35 triệu người mỗi năm. Tức là cứ 25 giây lại có một người bị chết. 74% số ca tử vong do giao thông đường bộ xảy ra ở các nước có thu nhập trung bình, tuy chỉ chiếm 53% số phương tiện được đăng ký trên thế giới. Ở các nước thu nhập thấp, điều đó còn tồi tệ hơn. Chỉ 1% số ô tô trên thế giới đã gây ra 16% số ca tử vong do giao thông đường bộ trên thế giới. Điều này cho thấy rằng các quốc gia này chịu gánh nặng tử vong do giao thông đường bộ cao không tương xứng so với mức độ cơ giới hóa của họ. Tai nạn giao thông xảy ra mọi lúc, mọi nơi, và gây ra thiệt hại nặng nề nhất, thương tích nghiêm trọng và tử vong và phần lớn là do người lái xe mất tập trung và không đạp phanh [2]. Để tránh những vụ tai nạn hay giảm thiểu độ thương vong do sự va chạm giữa các phương tiện, hệ thống phanh đóng vai trò vô cùng quan trọng. Có rất nhiều hệ thống phanh được phát triển để tạo nên hệ thống phanh mượt mà và tương thích, ABS là một trong số những ví dụ về hệ thống phanh và là tiêu chuẩn bắt buộc tại các quốc gia châu Âu ngày nay. Hệ thống phanh cần được thiết lập để có thể phanh trong khoảng thời gian phù hợp với hoàn cảnh nhất. Nếu hệ thống không được kích hoạt đúng thời gian sẽ khó có thể ngăn chặn hay giảm thiểu khả năng va chạm giữa các phương tiện. Những sự xuất hiện đột ngột của các phương tiện phía trước các phương tiện khác có thể gây ra sự hoảng loạn cho người lái. Vì vậy, để đối mặt với các vấn đề nêu trên hệ thống phanh tự động AEB được ra đời. Nếu giả sử người lái xe không chú ý tới các vật cản phía trước xe, hệ thống phanh tự động có thể gửi cảnh báo tới người lái xe và trực tiếp tác động nhằm tránh các vụ va chạm tiềm ẩn. Mục đích của nghiên cứu này là xây dựng mô hình mô phỏng của hệ thống phanh tự động để tránh hoặc giảm thiểu tổn thất do các va chạm. Điều đó có nghĩa là bản thân hệ thống

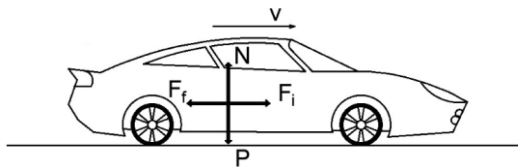
phanh trên ô tô phải có bộ điều khiển để hỗ trợ người lái trên đường. Điều này sẽ làm giảm đáng kể thiệt hại về tài sản và tiền bạc do thiệt hại do tai nạn gây ra [3]. Trong bài báo này, một hệ thống phát hiện chướng ngại vật được thiết kế với các cảm biến siêu âm để đạt được khoảng cách phanh tới hạn giữa xe đang di chuyển và người đi bộ hoặc hai xe đang di chuyển. Hệ thống phanh được thiết kế với hệ thống chống bó cứng để ngăn bánh xe không bị bó cứng khi phanh gấp và duy trì hệ thống ở tỷ lệ trượt tối ưu. Quy tắc mờ được phát triển cho cả hệ thống phát hiện chướng ngại vật và phanh để kiểm soát hoạt động của hệ thống và đảm bảo hiệu quả việc lái xe an toàn.

2. Thiết lập mô hình toán hệ thống phanh thông minh

2.1. Mô hình toán mô hình hệ thống ABS

Mô hình toán học là cơ sở ban đầu để phát triển một thuật toán điều khiển cho ABS. Trong bài báo này một mô hình toán học được xây dựng là mô hình một phần tử ô tô. Trong đó, các phương trình và biểu thức toán học khác nhau được sử dụng để mô hình hóa các thành phần khác nhau, bao gồm: động lực học của xe, độ trượt của bánh xe, lớp, bộ truyền động phanh.

Động lực học của xe



Hình 1. Mô hình động lực học của xe

Giả thiết rằng, xe thực hiện quá trình phanh trong điều kiện chuyển động thẳng đều, biểu thức xác định lực cản lăn là:

$$F_f = \mu \cdot m_v \cdot g \quad (1)$$

Trong đó:

m_v [kg] - Là tổng khối lượng của xe;

g [m/s²] - Là gia tốc trọng trường.

Lực quán tính chuyển động là tích giữa khối lượng của xe m_v [kg] và gia tốc của xe a_v [m/s²]:

$$F_i = m_v \cdot a_v = m_v \cdot \frac{dv_v}{dt} \quad (2)$$

Trong đó: v_v [m/s] - Là tốc độ của xe.

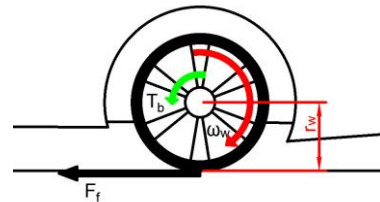
Từ các phương trình (1) và (2), có thể rút ra biểu

thức xác định gia tốc xe:

$$\frac{dv_v}{dt} = \frac{1}{m_v} \cdot (\mu \cdot m_v \cdot g) \quad (3)$$

Tốc độ của xe xác định bằng cách lấy tích phân của phương trình (3).

Mô hình lớp xe



Hình 2. Mô hình động lực học lớp xe

Trong quá trình phanh, thông qua hệ thống dẫn động phanh, người lái xe tác dụng mômen phanh T_b [Nm] lên các bánh xe. Lực cản lăn F_f [N] giữa bánh xe và đường tạo ra một mômen ngược chiều với bán kính bánh xe r_w [m].

Để đơn giản hóa, giả thiết rằng bánh xe cứng tuyệt đối và phản lực của mặt đường truyền qua trục bánh xe, do đó không tạo thêm mômen xoắn [4].

Do đó, có thể viết phương trình động lực học của bánh xe như sau:

$$T_b - F_f \cdot r_w - J_w \cdot \frac{d\omega_w}{dt} = 0 \quad (4)$$

Trong đó:

J_w [kg.m²] - Là mômen quán tính của bánh xe;

ω_w [rad/s] - Là tốc độ góc của bánh xe.

Từ phương trình (4) rút ra biểu thức xác định gia tốc bánh xe:

$$\frac{d\omega_w}{dt} = \frac{1}{J_w} \cdot (T_b - F_f \cdot r_w) \quad (5)$$

Tốc độ của bánh xe được xác định bằng cách lấy tích phân của phương trình (5).

Độ trượt bánh xe

Hệ thống phanh ABS phải kiểm soát độ trượt của bánh xe s [-] quanh một mục tiêu tối ưu nhất. Độ trượt của bánh xe được tính như sau:

$$s = 1 - \frac{\omega_w}{\omega_v} \quad (6)$$

Trong đó: ω_v [rad/s] - Là tốc độ góc tương đối của xe, được tính bằng công thức:

$$\omega_v = \frac{v_v}{r_w} \quad (7)$$

Trong đó: v_v [m/s] - Là tốc độ của xe.

2.2. Mô hình toán hệ thống phát hiện chướng ngại vật

Khoảng cách theo thời gian thực là khoảng cách giữa xe đang chuyển động và người đi bộ hoặc khoảng cách giữa hai xe đang chuyển động. Thời gian cần thiết cho sự chuyển động qua lại của sóng siêu âm sau khi va vào chướng ngại vật là thời gian thu nhận (thời gian cần thiết x2). Khoảng cách thời gian thực d thu được từ cảm biến siêu âm được cho là:

$$d = \frac{\text{thời gian thu nhận}}{2} \cdot v_{at} \quad (8)$$

Vận tốc đi bộ của người đi bộ được bỏ qua so với ô tô A và được cho là bằng không [5]. Khi đó khoảng cách phanh tới hạn giữa ô tô A và người đi bộ được cho là:

$$d_{c1} = V_A \left(t_r + \frac{t_i}{2} \right) + \frac{V_A^2}{2\mu g} + d_{min} \quad (9)$$

Phương trình này được sử dụng cho chướng ngại vật không di chuyển hoặc người đi bộ có vận tốc được giả định bằng 0. Bộ vi điều khiển đã sử dụng vận tốc của ô tô (V_A) để xác định khoảng cách phanh tới hạn (d_{c1}) được so sánh với khoảng cách thời gian thực (d) giữa xe và chướng ngại vật không di chuyển. Nếu khoảng cách thời gian thực tương đối (d) lớn hơn khoảng cách phanh tới hạn d_{c1} , xe có thể giữ vận tốc

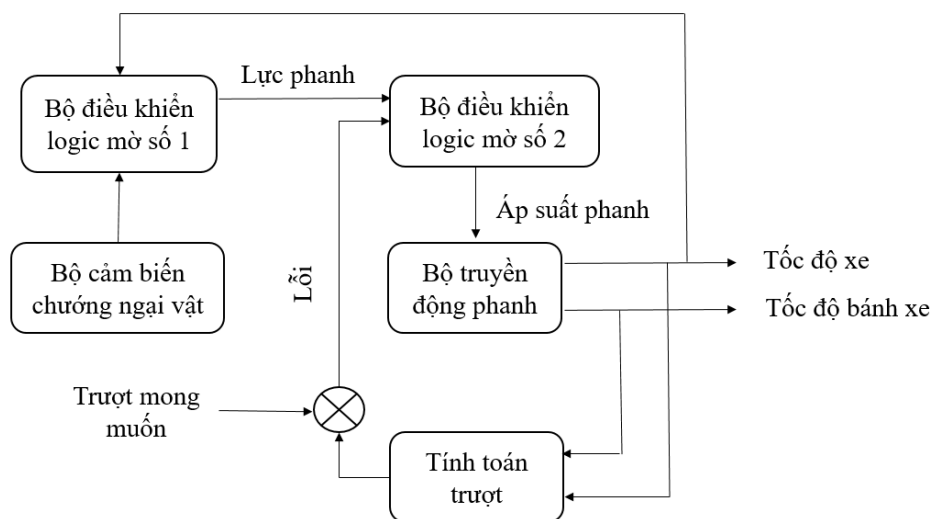
ban đầu và người đi bộ có thể sang đường an toàn. Nếu khoảng cách tương đối thấp hơn hoặc bằng khoảng cách phanh tới hạn mà người lái xe vẫn không giảm tốc hoặc thực hiện các biện pháp an toàn khác, trạng thái này được coi là nguy hiểm và việc giảm tốc nhờ phanh tự động trên ô tô sẽ được thực hiện bằng hệ thống chống bó cứng phanh. Sau khi nhận được lệnh từ bộ điều khiển để giảm tốc độ hoặc dừng xe.

Khoảng cách phanh tới hạn giữa hai xe đang chuyển động (Xe A và Xe B) có thể được tính theo mô hình khoảng cách an toàn trong quá trình phanh như sau [5]:

$$d_{c2} = V_A t_r + \frac{(V_A - V_B)t_i}{2} + \frac{V_A^2 - V_B^2}{2\mu g} + d_{min} \quad (10)$$

Trong đó d_{c1} , d_{c2} = quãng đường phanh tới hạn để giảm tốc, V_A = vận tốc của ô tô A, V_B = vận tốc của ô tô B, μ = hệ số ma sát của đường, t_r = tổng thời gian phản ứng của người lái xe và thời gian phối hợp phanh dao động trong khoảng 0,8 giây đến 1,2 giây, t_i = thời gian tăng của giảm tốc phanh thay đổi từ 0,1 giây đến 0,2 giây, g = gia tốc trọng trường ($9,81 \text{ m/s}^2$) và d_{min} = khoảng cách tối thiểu giữa xe và chướng ngại vật khi dừng xe từ 1m đến 4m.

Nếu khoảng cách thời gian thực d giữa xe A và xe B lớn hơn quãng đường phanh tới hạn d_{c2} thì đó là trạng thái an toàn và xe có thể chạy với vận tốc hiện tại. Ngược lại, nếu người lái xe không giảm tốc hoặc thực hiện các biện pháp an toàn khác khi khoảng cách hiện tại thấp hơn hoặc bằng khoảng cách phanh tới hạn, trạng thái này được đánh giá là nguy hiểm và việc giảm tốc độ phanh tự động trên ô tô A cần sẽ được



Hình 3. Sơ đồ khối hệ thống phanh tự động

thực hiện ngay lập tức bằng người điều khiển để tránh va chạm với ô tô B.

3. Xây dựng mô hình mô phỏng hệ thống phanh thông minh

3.1. Sơ đồ khối hệ thống

Sơ đồ khối của hệ thống phanh tự động với hai bộ điều khiển logic mờ xếp tầng và cảm biến phát hiện chướng ngại vật cho hệ thống phanh tự động để tránh va chạm với chướng ngại vật được mô tả trong Hình 3. Hệ thống được mô hình hóa sử dụng hai bộ điều khiển logic mờ để thực hiện các hành động. Bộ điều khiển logic mờ đầu tiên quyết định dừng xe hoặc giảm tốc độ của xe tùy thuộc vào khoảng cách của chướng ngại vật và tốc độ của xe tại thời điểm đó. Bộ điều khiển logic mờ thứ hai lấy lực phanh làm đầu vào để quyết định cường độ của lực phanh cho bộ truyền động phanh và tỷ lệ trượt cần duy trì để tránh hiện tượng bó cứng bánh xe. Việc điều chỉnh độ trượt giữa lớp ô tô và mặt đường để tránh trượt bánh được bộ điều khiển logic mờ thứ 2 kiểm soát khi cảm biến bánh xe phát hiện sự giảm tốc đột ngột gây ra sự chênh lệch giữa tốc độ bánh xe và tốc độ xe. Hệ thống phát hiện chướng ngại vật có ba cảm biến siêu âm (hai cảm biến ở hai bên xe, cái còn lại ở phía trước xe) để đo khoảng cách chướng ngại vật. Khoảng cách này xác định được lực phanh khi so sánh với tốc độ của xe.

3.2. Mô hình hệ thống phanh tự động

Việc triển khai hệ thống phanh tự động được mô hình hóa trong phần mềm MATLAB - Simulink được thể hiện trong Hình 4. Thuật toán điều khiển fuzzy logic trong mô hình này được tham khảo từ tài liệu [5].

4. Kết quả và phân tích

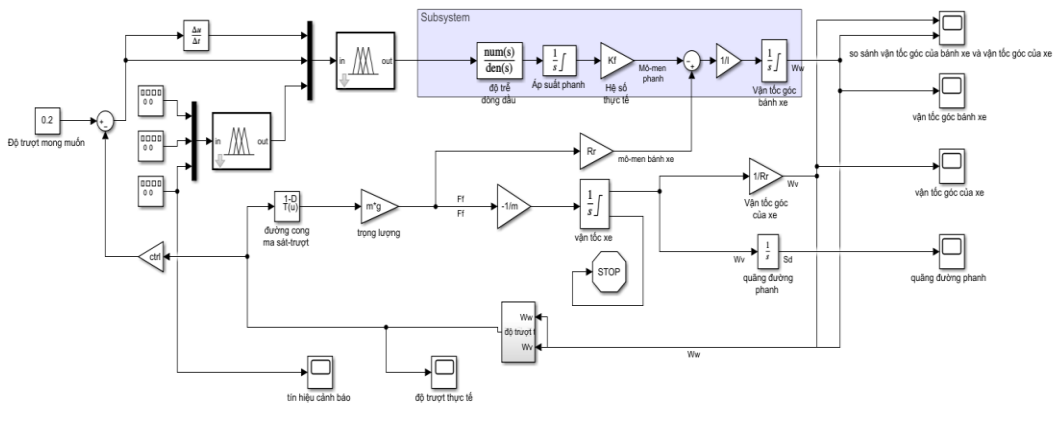
Trong bài báo này, hai tiêu chí để đánh giá hiệu

suất của hệ thống là khoảng cách và thời gian phanh, được khảo sát từ khi bắt đầu phanh đến khi xe dừng lại mà không tính đến thời gian phản ứng của người lái. Góc trượt của bánh xe được giả định bằng 0, tức là chỉ chạy thẳng trên mặt đường phẳng đồng nhất mới được sử dụng. Lực cản của không khí, khí động học và rung động của hệ thống treo bị bỏ qua. Các thông số đầu vào của được sử dụng trong nghiên cứu được liệt kê trong Bảng 1. Tốc độ ban đầu được chọn là 28m/s. Các phương pháp điều khiển khác nhau và tham số được sử dụng trong các trường hợp mô phỏng khác nhau và kết quả được so sánh và thảo luận.

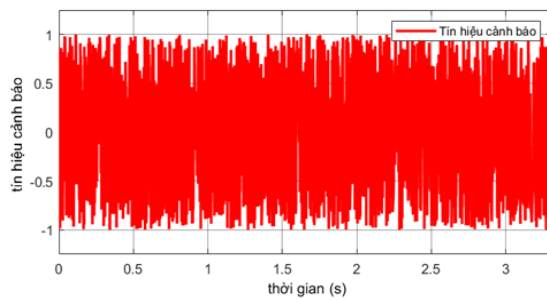
Bảng 1. Thông số đầu vào của quá trình mô phỏng

Ký hiệu	Thông số	Giá trị
m	Khối lượng (Kg)	360
R_r	Bán kính bánh xe (m)	0,32
g	Gia tốc trọng trường (m/s ²)	9,81
v_0	Vận tốc ban đầu (m/s)	28
K_f	Lực và momen xoắn	1
I	Quán tính quay của bánh xe (kg.m ²)	5
P_{bmax}	Momen xoắn cực đại (Nm)	1800
$Ctrl$	Biến điều khiển	1 hoặc 0

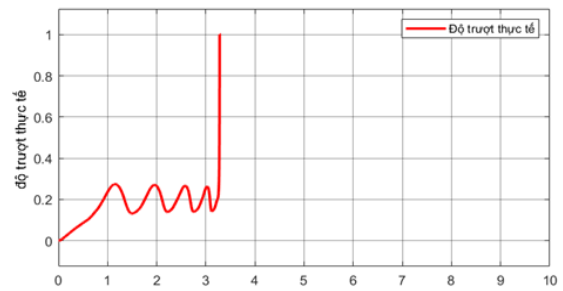
Mô phỏng Simulink sẽ chạy trong 10 giây. Kết quả mô phỏng hệ thống phanh tự động sử dụng bộ điều khiển Logic mờ được thể hiện bằng các đồ thị đặc trưng cho hệ thống phanh.



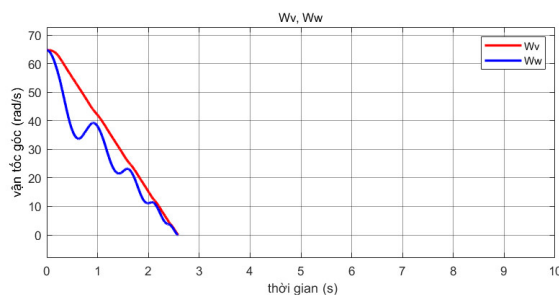
Hình 4. Mô hình hệ thống phanh tự động



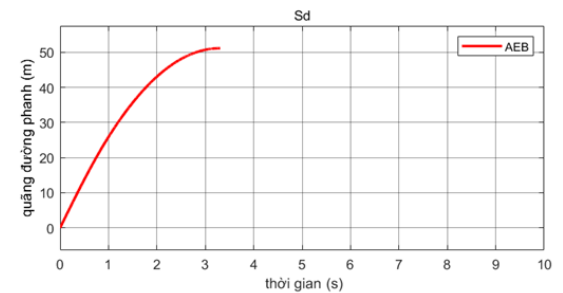
Hình 5. Tín hiệu cảnh báo



Hình 6. Sự biến đổi của độ trượt trong quá trình phanh



Hình 7. Vận tốc của xe và vận tốc của bánh xe



Hình 8. Quãng đường phanh

Tín hiệu cảnh báo được thể hiện như trên Hình 5. Dựa vào đồ thị, có thể thấy tín hiệu cảnh báo được thiết lập một cách không có quy luật và liên tục cho đến khi xe dừng, nhờ đó mà tác giả đánh giá được hiệu quả của hệ thống cảm biến cũng như bộ điều khiển phát hiện vật cản cho mô hình hệ thống phanh tự động mà nhóm tác giả xây dựng.

Hình 6 cho thấy độ trượt tương đối chuẩn hóa trong quá trình giảm tốc từ cảm biến tốc độ bánh xe. Đồ thị cho thấy khi xe giảm tốc và giá trị trượt bắt đầu tăng lên đến 0,25, bộ điều khiển ra lệnh cho hệ thống phanh thủy lực nhả phanh làm giảm giá trị trượt xuống đến 0,15. Điều này xảy ra liên tục và được tính bằng micro giây để duy trì sự ổn định và tính năng dẫn hướng của xe khi phanh và giá trị trượt tăng lên đến 1 khi xe dừng lại nghĩa là vận tốc góc của bánh xe bằng 0 (xe đang dừng).

Xe dừng lại trong thời gian giảm và sự dao động của vận tốc bánh xe thì tăng lên trong mô hình này. Điều này cho thấy vận tốc bánh xe được điều khiển liên tục giúp cho bánh xe không bị bó cứng lại. Vận tốc của xe và vận tốc của bánh xe cùng chuyển về 0 sau 3,3 giây. Bộ điều khiển logic mờ đồng bộ hóa tốc độ xe và bánh xe trước khi xe dừng hoặc bẻ lái để tránh trượt bánh. Bộ điều khiển giám sát tốc độ xe và điều chỉnh tốc độ bánh xe để đồng bộ với tốc độ xe trước khi xe dừng như Hình 7.

Khoảng cách dừng của xe đã được giảm xuống 51m trong 3,3 giây để tránh va chạm như Hình 8. Khi hệ thống phát hiện chướng ngại vật, hệ thống sẽ tính toán khoảng cách phanh tới hạn luôn cao hơn khoảng cách dừng. Logic mờ sẽ gửi một tín hiệu đến hệ thống phanh thủy lực ngay lập tức xe đang ở trong khoảng cách phanh tới hạn. Giả sử tốc độ của xe là 28m/s quãng đường phanh tới hạn theo phương trình 13 sẽ là 77,75m, nghĩa là xe cách chướng ngại vật 26,75m thì dừng lại.

5. Kết luận

Bài báo thực hiện xây dựng mô hình và mô phỏng hệ thống phanh tự động sử dụng bộ điều khiển logic mờ dựa trên cơ sở của hệ thống chống bó cứng phanh ABS kết hợp với hệ thống cảm biến phát hiện chướng ngại vật được sử dụng cho các phương tiện có thể giải quyết vấn đề khi người lái xe không phanh đúng lúc trong tình huống khẩn cấp và có thể tự động giảm tốc độ do phát hiện chướng ngại vật. Với sự kết nối của các cảm biến siêu âm trong xe, hệ thống thu thập tín hiệu được tích hợp cho phép có thể đạt được các kết quả với độ chính xác cao, thời gian dừng ngắn và cải thiện khoảng cách dừng khi phanh. Hệ thống thích hợp trong trường hợp đường xá chật hẹp, điều kiện giao thông đông đúc, tình huống khẩn cấp và khu vực hạn chế tầm nhìn của người lái xe. Hệ thống được xây dựng sử dụng bộ điều khiển Logic mờ kết hợp với bộ điều khiển chống bó cứng ABS cho kết quả đáng tin

cây và ổn định hơn khi chỉ sử dụng hệ thống ABS đơn thuần và giúp nâng cao hiệu suất làm việc của hệ thống phanh.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả của bài báo xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ của Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học mã số: **RD-QĐ 08/ĐHCNHN**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] World Health Organization (2018). *Global Status Report on Road Safety*, Geneva, Switzerland, https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/ Retrieved on 12th January.
- [2] Dhanya, K. R. and Jeyanthi, R (2012). *Automatic braking system with sensor fusion concept*, International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development, Vol.3 No.2.

- [3] Deepak, C. C., Guruprasath, P., Kumar, Kumar S. H. and Anthony, V. L (2017). *Intelligent Braking System in Automobile Applications International Conference on Latest Innovations in Applied Science, Engineering and Technology*, pp.103-108.
- [4] EURO NCAP'S first step to assess autonomous emergency braking (AEB) for vulnerable road users.
- [5] Autonomous Emergency Braking (AEB) Test Definition Group, Thatcham. http://www.thatcham.org/safety/pdfs/AEB_group_paper_Jun2010.pdf.
- [6] Nguyễn Khắc Trai, Nguyễn Trọng Hoan, Hồ Hữu Hải, Phạm Huy Hoàng, Nguyễn Văn Chương, Trịnh Minh Hoàng (2009), *Kết cấu ô tô*, NXB Bách khoa Hà Nội.

Ngày nhận bài:	12/10/2022
Ngày nhận bản sửa:	26/10/2022
Ngày duyệt đăng:	06/11/2022