

NGHIÊN CỨU SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA VẬN TỐC VÀ HỆ SỐ BẮM ĐẾN SỰ ỔN ĐỊNH HƯỚNG CỦA XE DÙNG HỆ THỐNG LÁI BỐN BÁNH BẰNG PHẦN MỀM CARSIM

STUDY ON THE INFLUENCE OF SPEED AND ADHESION COEFFICIENT ON THE DIRECTIONAL STABILITY OF FOUR-WHEEL STEERING VEHICLES USING CARSIM SOFTWARE

NGUYỄN CÔNG KHẢI^{1,a}, MAI PHƯỚC TRÁI^{2,b}

¹Khoa Kỹ thuật Cơ khí, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Kỹ thuật Công nghệ Ô tô, Trường Đại học SPKT Vĩnh Long

^aTác giả liên hệ: nckhai@ctu.edu.vn

Nhận bài(Received): 26/02/2025; Phản biện (Reviewed):13/3/2025; Chấp nhận (Accepted):24/3/2025

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, tác giả đã xây dựng được mô hình mô phỏng ảnh hưởng của các yếu tố như hệ số bám mặt đường (0.1 đến 0.85) và tốc độ ô tô (30 km/h đến 120 km/h) trong trường hợp chuyển làn đến tính ổn định hướng của ô tô dùng hệ thống lái 4WS bằng phần mềm Carsim. Kết quả cho thấy, dù 4WS cải thiện đáng kể độ an toàn và hiệu suất vận hành, nhưng ở tốc độ cao, nguy cơ mất ổn định vẫn rất lớn. Trong các trường hợp bề mặt đường trơn trượt (hệ số bám mặt đường thấp từ 0.1 đến 0.25), người lái cần tuân thủ giới hạn tốc độ, đặc biệt không nên vượt quá 40 km/h trên đường trơn hoặc có hệ số bám thấp để giảm thiểu rủi ro tai nạn. Trong điều kiện đường cực kỳ trơn trượt, việc duy trì tốc độ hợp lý và thận trọng khi lái xe là vô cùng quan trọng.

Từ khóa: hệ thống lái bốn bánh, ổn định hướng, CarSim, động lực học ô tô.

ABSTRACT

In this study, the author developed a simulation model to evaluate the influence of factors such as road adhesion coefficient (0.1 to 0.85) and vehicle speed (30 km/h to 120 km/h) on the directional stability of four-wheel steering (4WS) vehicles during lane-changing maneuvers using CarSim software. The results showed that although 4WS significantly improves safety and performance, the risk of instability remains high at high speeds. In slippery road surfaces (with a low adhesion coefficient from 0.1 to 0.25), drivers should adhere to speed limits, particularly avoiding speeds over 40 km/h on slippery or low-adhesion roads to minimize accident risks and under highly slippery conditions, maintaining a reasonable speed and exercising caution while driving is crucial.

Keywords: four-wheel steering system, directional stability, CarSim, vehicle dynamics.

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống lái giúp người điều khiển phương tiện kiểm soát hướng di chuyển một cách hiệu quả. Hiện tại, hai loại hệ thống lái được sử dụng phổ biến trên các phương tiện là hệ thống lái hai bánh trước truyền thống (2WS) và hệ thống lái bốn bánh (4WS). So với hệ thống 2WS, hệ thống 4WS mang lại nhiều cải tiến đáng kể về tính năng điều khiển. Với khả năng điều chỉnh độc lập bánh trước và bánh sau trong quá trình vận hành, hệ thống 4WS giúp phương tiện dễ dàng quay đầu, tăng khả năng ổn định hướng di chuyển, đồng thời giảm thiểu tình trạng thừa lái hoặc thiếu lái. Đặc điểm này góp phần nâng cao mức độ an toàn cho phương tiện [1-2].

Thông qua quá trình nghiên cứu, tác giả nhận thấy rằng hệ thống 4WS là một công nghệ mới được ứng dụng rộng rãi vào hệ thống lái trên các phương tiện hiện nay, do đó cần có thêm nhiều nghiên cứu. Cần nghiên cứu và khảo sát hệ thống này trên các mẫu xe hiện tại. Nghiên cứu về sự ảnh hưởng của các yếu tố đến hệ thống lái 4WS sẽ giúp đưa ra các cảnh báo an toàn cho tài xế

Nhiều nghiên cứu liên quan đến hệ thống 4WS đã được thực hiện. Các nghiên cứu này đã sử dụng phần mềm Matlab/Simulink hoặc CarSim để khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến tính dẫn động của phương tiện. Các nghiên cứu đã xây dựng mô hình động lực học và khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến độ ổn định của hệ thống lái [3-10]. Trong nghiên cứu [3], tác giả đã mô phỏng hệ thống lái 4WS bằng phần mềm Carsim và chế độ tạo mô hình để thực nghiệm. Các nghiên cứu [4-6] đã nghiên cứu mô phỏng hệ thống điều khiển cho xe 4WS. Nghiên cứu [7] khảo sát nghiên cứu tính ổn định hướng của hệ thống

lái độc lập phía trước, 4 bánh và 4 bánh độc lập. Nghiên cứu [8] đã khảo sát sự ảnh hưởng của hệ số bám mặt đường đến tính ổn định hướng của xe 4WS. Nghiên cứu [9-10] đã thiết lập các chế độ điều khiển của hệ thống lái bốn bánh dẫn hướng.

Việc xây dựng mô hình động lực học cho hệ thống lái 4WS (bốn bánh lái) nhằm khảo sát các yếu tố tác động đến ổn định của phương tiện là một yêu cầu cấp thiết trong nghiên cứu hiện đại. Trong nghiên cứu này, tác giả đã phát triển mô hình động lực học của hệ thống lái 4WS, tập trung vào việc phân tích ảnh hưởng của vận tốc và hệ số bám mặt đường đến khả năng duy trì ổn định hướng của ô tô khi sử dụng công nghệ lái bốn bánh. Các kết quả nghiên cứu không chỉ cung cấp cái nhìn sâu sắc về sự vận hành của hệ thống, mà còn đưa ra những cảnh báo thiết thực dành cho tài xế trong các tình huống giao thông khác nhau, chẳng hạn như khi chuyển làn hoặc khi di chuyển trên các đoạn đường trơn trượt. Đây là một đóng góp quan trọng, đặc biệt trong bối cảnh giao thông ngày càng phức tạp và nguy hiểm

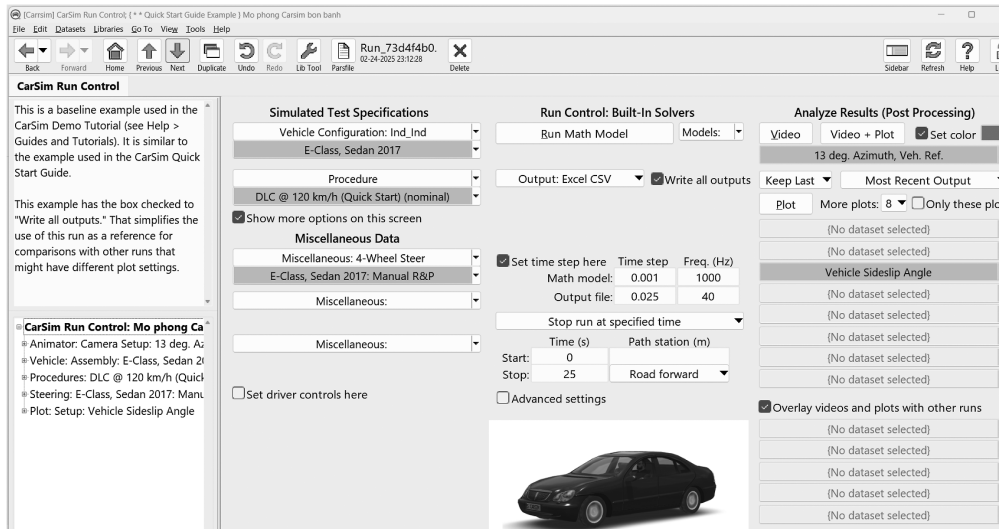
2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH KHẢO SÁT CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HỆ THỐNG LÁI 4WS BẰNG PHẦN MỀM CARSIM

Để mô phỏng bằng phần mềm CarSim, ta cần vào màn hình chính. Sau đó, ta thực hiện các bước sau.

Bước 1: Tạo mô hình xe trong CarSim:

Nhập thông số kỹ thuật: Sử dụng các thông số đã thu thập để thiết lập mô hình xe trong CarSim, bao gồm kích thước, khối lượng, hệ thống treo, hệ thống lái, hệ thống phanh, động cơ, truyền động, lốp xe, ...

Thiết lập hệ thống điều khiển: Các hệ thống hỗ trợ lái xe như ABS, TCS, ESC, ... (nếu có).



Hình 1. Giao diện phần mềm Carsim

Bước 2: Thiết lập điều kiện mô phỏng:

Môi trường lái xe: Xác định loại đường, điều kiện thời tiết, hệ số ma sát mặt đường.

Kịch bản lái xe: Đặt các tình huống lái xe cụ thể như tăng tốc, phanh gấp, quay vòng, lái xe trên đường vòng cong,

Bước 3: Chạy mô phỏng và phân tích kết quả:

Thực hiện các mô phỏng dựa trên kịch bản đã thiết lập.

Sử dụng các công cụ của CarSim để phân tích kết quả, bao gồm đồ thị, số liệu và hình ảnh.

Đánh giá hiệu suất và hành vi của xe trong các tình huống khác nhau.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Nhóm tác giả sử dụng các thông số xe khảo sát là Lexus LS500h 2017

Bảng 1. Thông số cơ bản của ô tô Lexus LS500h 2017 [11]

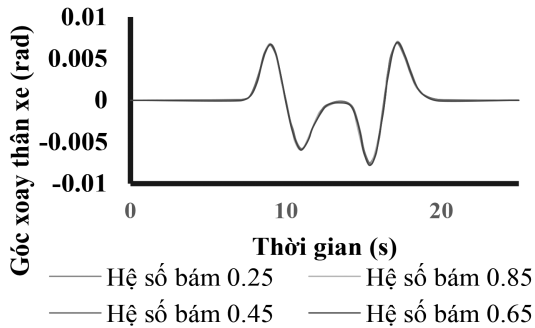
Đại lượng	Giá trị	Đơn vị
Chiều dài cơ sở (L)	2500	mm

Đại lượng	Giá trị	Đơn vị	
Chiều rộng cơ sở (B)	1639	mm	
Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước (a)	1100	mm	
Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu sau (b)	1400	mm	
Chiều cao gầm (tối thiểu)	169	mm	
Góc nghiêng chính	14	độ	
Góc khởi hành	16	độ	
Khối lượng không tải	Cầu trước	1135	kg
	Cầu sau	1080	kg
	Toàn bộ	2215	kg
Khối lượng toàn tải	Cầu trước	1220	kg
	Cầu sau	1505	kg
	Toàn bộ	2725	kg
Tốc độ tối đa	250	km/h	
Thời gian tăng tốc từ 0 km/h lên 100 km/h	5.4	giây	

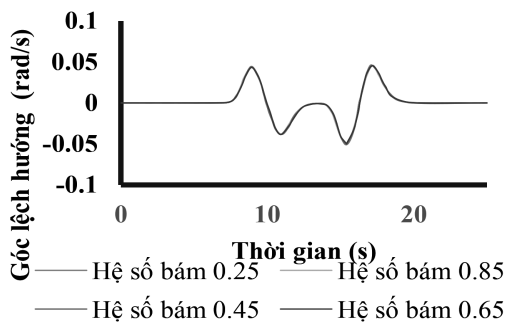
3.4.1 Khảo sát sự ổn định xe sử dụng hệ thống lái 4WS khi chuyển làn

Trong nghiên cứu này, tác giả cho xe tăng tốc đến vận tốc cần thiết, sau đó cho

xe chuyển làn hai lần. Xe sẽ chạy ở các mức tốc độ khác nhau (30 km/h, 60 km/h, 90 km/h và 120 km/h) và các hệ số bám mặt đường khác nhau (0.25; 0.45; 0.65 và 0.85). Các thông số đầu ra được ghi nhận bao gồm góc xoay thân xe (rad) và góc lệch hướng (rad/s).

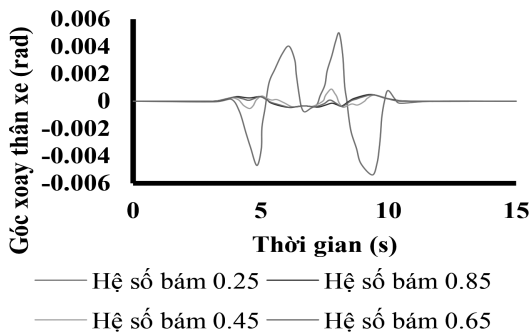


Hình 2. Góc xoay thân xe $V=30\text{ km/h}$

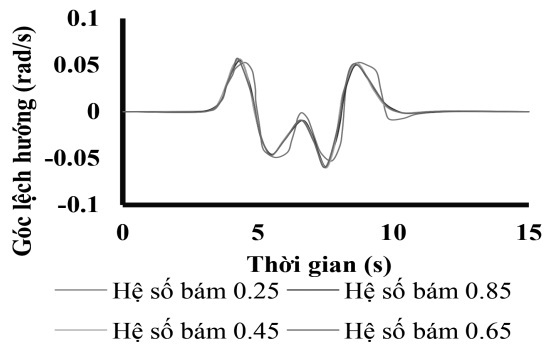


Hình 3. Góc lệch hướng $V=30\text{ km/h}$

Nhận xét 1: Ở vận tốc 30 km/h, góc xoay thân xe và góc lệch hướng thay đổi không đáng kể khi hệ số bám mặt đường khác nhau. Điều này cho thấy, ở tốc độ thấp, hệ thống lái bốn bánh dẫn hướng (4WS) duy trì tính ổn định tốt ngay cả trên mặt đường trơn trượt.

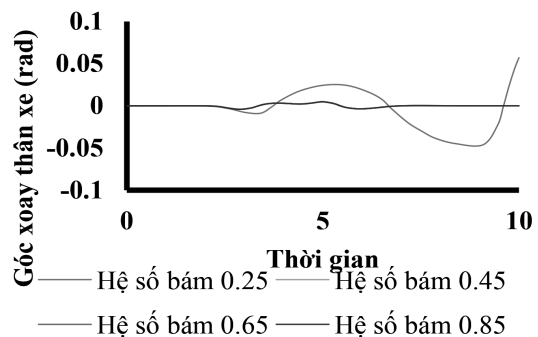


Hình 4. Góc xoay thân xe $V=60\text{ km/h}$

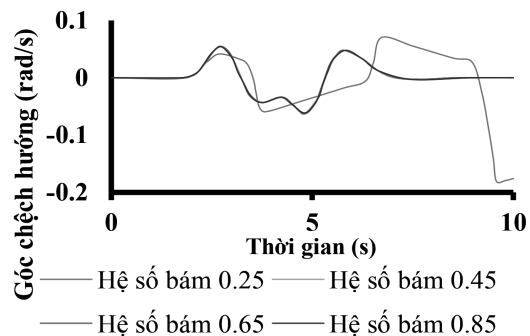


Hình 5. Góc lệch hướng $V=60\text{ km/h}$

Nhận xét 2: Dựa trên kết quả nghiên cứu được thể hiện ở hình 4 và hình 5, chúng ta nhận thấy rằng ở hệ số bám 0.25, góc xoay thân xe và góc lệch hướng tăng đáng kể so với các hệ số bám cao hơn. Tuy nhiên, các giá trị này vẫn nằm trong giới hạn an toàn cho phép. Ngoài ra, ở vận tốc 30 km/h, cả hai thông số trên đều lớn hơn đáng kể so với khi xe di chuyển ở vận tốc 60 km/h. Điều này cho thấy ở tốc độ thấp như 30 km/h, xe 4WS có khả năng cơ động rất tốt, trong khi ở dải tốc độ trung bình như 60 km/h, xe 4WS phát huy tính ổn định.

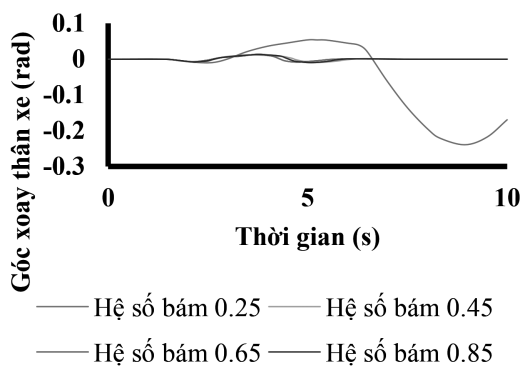


Hình 6. Góc xoay thân xe $V=90\text{ km/h}$

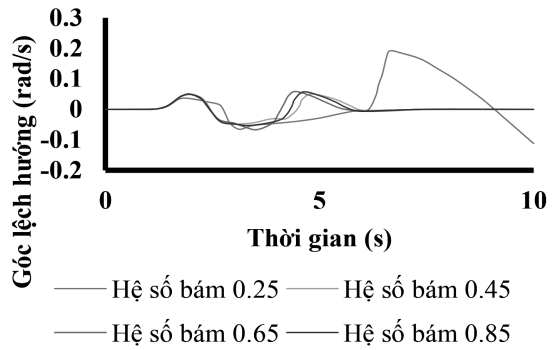


Hình 7. Góc tốc lệch $V=90\text{ km/h}$

Nhận xét 3: Dựa trên kết quả nghiên cứu, nhận thấy rằng ở hệ số bám 0.25, các giá trị góc xoay thân xe và góc lệch hướng tăng đáng kể so với các mức hệ số bám cao hơn. Quan sát hình 6 và hình 7 cho thấy xe không thể trở về trạng thái ban đầu. Trong video mô phỏng, xe đã lệch khỏi quỹ đạo an toàn. Điều này cho thấy rằng ở hệ số bám thấp, xe mất ổn định và khó kiểm soát, dẫn đến nguy cơ mất an toàn khi vận hành. Do đó, cần thận trọng khi lái xe trên các bề mặt có hệ số bám thấp để đảm bảo an toàn.



Hình 8. Góc xoay thân xe $V=120$ km/h

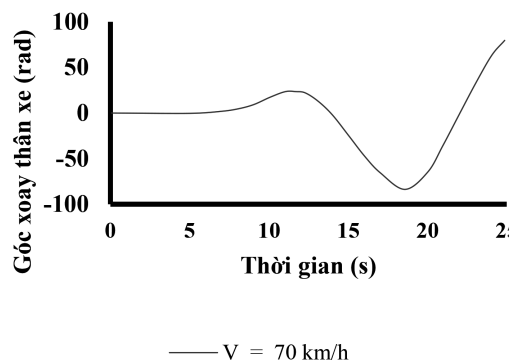
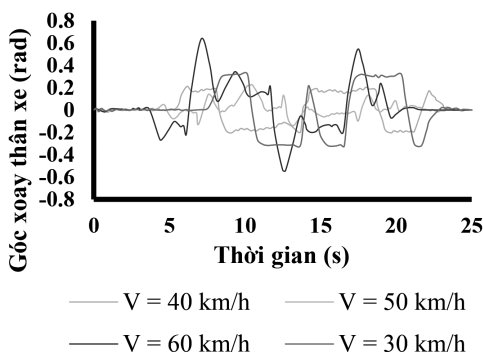


Hình 9. Góc lệch hướng $V = 120$ km/h

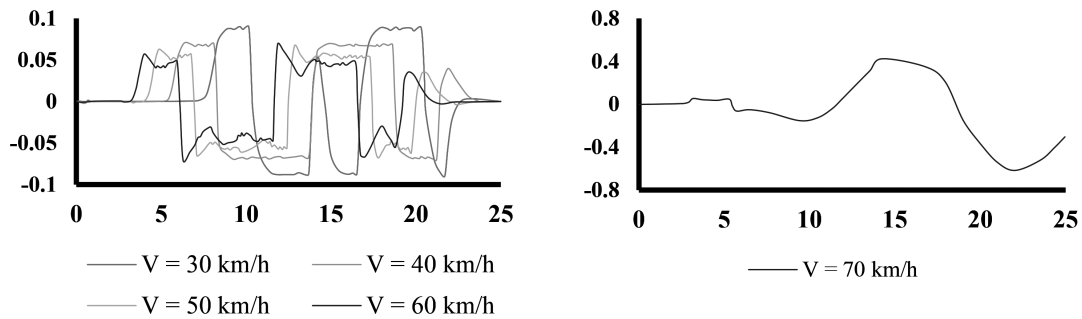
Nhận xét 4: Dựa trên kết quả nghiên cứu, ở hệ số bám 0.25 và vận tốc 120 km/h, các giá trị góc xoay thân xe và góc lệch hướng tăng đáng kể so với các mức hệ số bám cao hơn. Quan sát hình 8 đến hình 9, ta nhận thấy xe không thể trở về trạng thái ban đầu. Trong video mô phỏng, xe đã lệch khỏi quỹ đạo an toàn. Điều này cho thấy ở hệ số bám thấp và tốc độ cao, xe mất ổn định nghiêm trọng, dẫn đến nguy cơ mất kiểm soát và tai nạn. Do đó, cần thận trọng khi lái xe ở tốc độ cao trên bề mặt có hệ số bám thấp để đảm bảo an toàn.



Hình 10. Hình ảnh mô phỏng ở vận tốc 30 km/h và hệ số bám 0.1



Hình 11. Góc xoay thân xe ở vận tốc 30 km/h đến 70 km/h và hệ số bám 0.1



Hình 12. Góc xoay thân xe ở vận tốc 30 km/h đến 70 km/h và hệ số bám 0.1

Nhận xét 4: Quan sát hình 06 đến hình 09 cho thấy, ở vận tốc 90 km/h và hệ số bám mặt đường 0.25, xe bị văng khỏi quỹ đạo chuyển động. Ở vận tốc 120 km/h, tình trạng này nghiêm trọng hơn khi xe rời khỏi quỹ đạo sớm hơn. Từ hình 10 đến 12 (với hệ số bám mặt đường 0.1), xe di chuyển ổn định và bám sát quỹ đạo ở vận tốc 30 km/h. Tuy nhiên, góc lệch hướng tăng dần ở các vận tốc 40 km/h, 50 km/h và 60 km/h, nhưng xe vẫn trở về trạng thái cân bằng. Ở vận tốc 70 km/h và hệ số bám 0.1, xe lệch hẳn khỏi quỹ đạo và không thể trở về trạng thái cân bằng. Điều này cho thấy hệ số bám ảnh hưởng đáng kể đến tính ổn định của ô tô. Đặc biệt, ở hệ số bám thấp và vận tốc cao, xe dễ mất ổn định và văng khỏi quỹ đạo, tăng nguy cơ tai nạn giao thông. Hệ số bám 0.1 tương ứng với điều kiện mặt đường trơn trượt và lốp xe mòn đến giới hạn. Theo kết quả mô phỏng, trong điều kiện này, xe không nên vượt quá 40 km/h trong điều kiện cực kỳ trơn trượt để đảm bảo an toàn.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, tác giả đã khảo sát ảnh hưởng của vận tốc (30-120 km/h)

và hệ số bám (0.1-0.85) đến tính ổn định hướng của ô tô sử dụng hệ thống lái 4WS khi chuyển làn. Kết quả phân tích cho thấy, mặc dù hệ thống lái kiểu 4WS giúp cải thiện khả năng điều khiển, nhưng xe vẫn tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định khi vận hành ở tốc độ cao. Do đó, tài xế cần tuân thủ giới hạn tốc độ, đặc biệt không nên vượt quá 40 km/h trên mặt đường trơn trượt có hệ số bám thấp để giảm thiểu rủi ro tai nạn. Ngoài ra, khi vào cua hoặc quay vòng, ngay cả khi hệ số bám đường tốt, tài xế vẫn cần giảm tốc độ để tránh lệch khỏi quỹ đạo do ảnh hưởng của lực ly tâm và các tác động động lực học, làm giảm độ ổn định của xe ở tốc độ cao.

Đề tài có nhiều hướng phát triển như khảo sát sự ảnh hưởng của mặt đường (hệ số bám, động mấp mô của mặt đường, ...) đến tính năng ổn định cũng như tuổi thọ của hệ thống lái bốn bánh dẫn hướng. Ngoài ra, đề tài có thể khảo sát vận tốc nguy hiểm của ô tô ở các góc cua khác nhau tại các vận tốc khác nhau cho các xe khác nhau, từ đó đưa ra các cảnh báo an toàn ở các giao lộ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Abe, M. (2015). *Vehicle handling dynamics: theory and application*. Butterworth-Heinemann.
- [2]. Sandu, C. (2010). Vehicle dynamics: Theory and applications. *Journal of guidance, control, and dynamics*, 33(1), 287-288.

- [3]. Hang, P., & Chen, X. (2021). Path tracking control of 4-wheel-steering autonomous ground vehicles based on linear parameter-varying system with experimental verification. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 235(3), 411-423.
- [4]. Zhang, C., Gao, G., Zhao, C., Li, L., Li, C., & Chen, X. (2022). Research on 4WS agricultural machine path tracking algorithm based on fuzzy control pure tracking model. *Machines*, 10(7), 597.
- [5] Zhu, S., Wei, B., Liu, D., Chen, H., Huang, X., Zheng, Y., & Wei, W. (2022). A dynamics coordinated control system for 4WD-4WS electric vehicles. *Electronics*, 11(22), 3731.
- [6]. Lu, A., Lu, Z., Li, R., & Tian, G. (2022, October). Adaptive LQR path tracking control for 4WS electric vehicles based on genetic algorithm. In *2022 6th CAA International Conference on Vehicular Control and Intelligence (CVCI)* (pp. 1-6). IEEE.
- [7]. Yim, S. (2020). Comparison among active front, front independent, 4-wheel and 4-wheel independent steering systems for vehicle stability control. *Electronics*, 9(5), 798.
- [8]. Liu, R., Wei, M., Sang, N., & Wei, J. (2020). Research on Curved Path Tracking Control for Four-Wheel Steering Vehicle considering Road Adhesion Coefficient. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020(1), 3108589.
- [9]. Sun, Y., Li, R., Lu, Z., & Tian, G. (2021, October). Design of Four Wheel Steering and Direct Yaw Moment Control for Unmanned Vehicle with Path Tracking Controller in Extreme Maneuvers. In *2021 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS)* (pp. 176-183). IEEE.
- [10]. Tourajizadeh, H., Sarvari, M., & Afshari, S. (2024). Path planning and optimal control of a 4WS vehicle using calculus of variations. *Acta Mechanica Sinica*, 40(2), 523217.
- [11]. Website: <https://11-movies.lexus-europe.com/media/downloads/ls-brochure.pdf>
(Ngày truy cập: 10/03/2024)