

KHẢO SÁT SỰ ỔN ĐỊNH CỦA XE KHI CHUYỂN LÀN BẰNG MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC PHỨC HỢP

Nguyễn Đức Ngọc¹, Nguyễn Tuấn Anh¹, Đặng Ngọc Duyên¹

Tóm tắt: Bài báo này tiến hành khảo sát sự ổn định của ô tô khi chuyển làn dựa trên một mô hình động lực học phức hợp. Mô hình này là sự kết hợp giữa mô hình động lực học không gian, mô hình động lực học hai dây phi tuyến và mô hình lớp phi tuyến. Các thông số đầu vào của bài toán mô phỏng bao gồm vận tốc và góc đánh lái. Các kết quả đầu ra thu được là góc nghiêng thân xe, góc xoay thân xe, quỹ đạo chuyển động của xe, ... Quá trình mô phỏng được thực hiện bởi phần mềm MATLAB-Simulink với hai trường hợp cụ thể. Kết quả của nghiên cứu cho thấy rằng khi xe chuyển động ở tốc độ cao hoặc đánh lái với góc lớn hơn, sự thay đổi của các thông số đầu ra cũng lớn hơn. Điều này có thể gây nên sự mất ổn định cho xe khi di chuyển trong một số tình huống đặc biệt. Do đó, cần xác định điều kiện di chuyển tại từng thời điểm để có thể lựa chọn góc đánh lái chuyển làn phù hợp.

Từ khoá: Động lực học ô tô, chuyển làn đơn, mô phỏng.

1. GIỚI THIỆU

Sự ra đời và tồn tại của ngành công nghiệp ô tô đã trải qua hơn 130 năm. Đi cùng với sự phát triển mạnh mẽ của Cuộc cách mạng Khoa học – Công nghệ 4.0, ngành công nghiệp ô tô ngày càng được chú trọng và phát triển mạnh mẽ. Bên cạnh các tính năng vận chuyển, sự an toàn của xe luôn là vấn đề được quan tâm hàng đầu. Khi xe di chuyển trên đường, có rất nhiều các tác động có thể ảnh hưởng đến sự ổn định của xe cũng như hành khách và hàng hóa trên xe. Đặc biệt, khi xe đánh lái để chuyển làn, tránh chướng ngại vật hoặc đi vào đường vòng, sự mất ổn định này là cao hơn cả (Poussot-Vassal C., et al., 2011). Khi xe đánh lái, lực ly tâm sẽ xuất hiện. Dưới ảnh hưởng của lực ly tâm, thân xe sẽ bị nghiêng. Bên cạnh đó, góc xoay thân xe cũng sẽ xuất hiện. Điều này có ảnh hưởng đến sự ổn định và an toàn của xe. Nếu vận tốc di chuyển càng lớn hoặc góc đánh lái càng lớn, sự mất ổn định cũng sẽ lớn hơn (Poussot-Vassal C., et al., 2007).

Trong những năm trở lại đây, có nhiều các

nghiên cứu về động lực học quay vòng và tính ổn định của xe đã được công bố. Trong (Nguyen Trong Hoan, et al., 2021), hai tác giả Nguyễn Trọng Hoan và Trần Phúc Hòa đã thực hiện nghiên cứu về động lực học quay vòng của ô tô tải ba trục. Trong bài báo này, các tác giả đã sử dụng mô hình động lực học một vết tuyến tính với sự biến dạng đàn hồi của lớp đế mô phỏng quỹ đạo chuyển động của ô tô. Với vận tốc là nhỏ, quỹ đạo chuyển động của ô tô khi giữ lái có thể được coi như một đường tròn. Trong (Nguyễn Tuấn Anh, et al., 2019), các tác giả đã đưa ra quy luật đánh lái kiểu J-turn và Fish-hook để xác định quỹ đạo chuyển động của xe. Quỹ đạo này là một hàm phụ thuộc vào vận tốc, góc hướng và góc xoay thân xe. Mô hình động lực học để mô phỏng dao động và chuyển động của xe có thể được thiết lập dựa trên phương pháp năng lượng với phương trình Laganger loại 2 hoặc nguyên lý D’alembert (Liaw D.C., et al., 2006; Taewon A., et al., 2021). Đầu ra của bài toán dao động khi đánh lái có thể là góc nghiêng ngang thân xe, góc xoay thân xe, tốc độ xoay thân xe và các nhân tố khác (Wielitzka M., et al., 2014; Zhang H., et al, 2018).

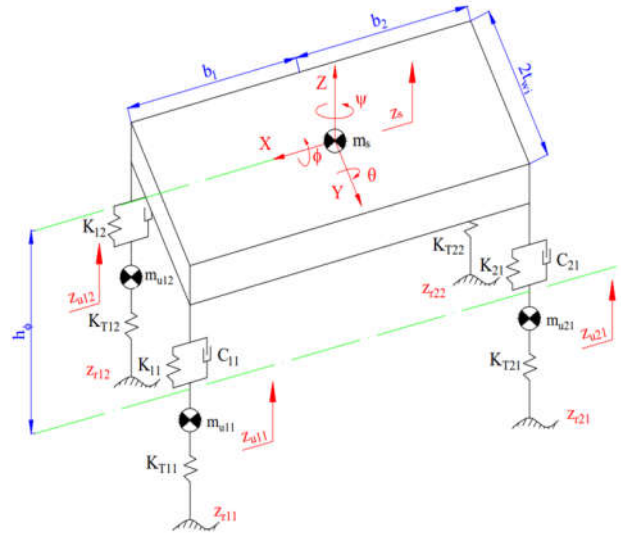
¹ Khoa Cơ khí, Trường Đại học Thủy lợi

Bài báo này tập trung vào việc thiết lập mô hình động lực học không gian phức tạp để mô phỏng dao động của xe khi chuyển làn đơn. Đây là mô hình phi tuyến có xét đến sự ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài. Nội dung cụ thể của bài báo được trình bày ở các mục tiếp theo.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC

Để mô phỏng dao động của xe khi đánh lái, mô hình động lực học cần phải được thiết lập. Trong nghiên cứu này, mô hình động lực học không gian với 7 bậc tự do (Hình 1) được kết hợp với mô hình động lực học hai dây phi tuyến (Hình 2). So với các sự kết hợp truyền thống (mô hình động lực học một phần hai kết hợp với mô hình động lực học một dây tuyến tính), mô hình này có kể đến sự ảnh hưởng của tất cả các góc nghiêng thân xe và chuyển vị của đầy đủ các bánh xe. Bên cạnh đó, sự biến dạng của lốp cũng được xem xét tới khi khảo sát. Tuy nhiên, mô hình này là khá phức tạp.

Sử dụng phương pháp tách hệ nhiều vật, các phương trình mô tả dao động của xe được đưa ra như sau:



Hình 1. Mô hình động lực học không gian

$$m_s \ddot{z}_s = \sum_{i,j=1}^2 (F_{Kij} + F_{Cij}) \quad (1)$$

$$(J_\phi + m_s h_\phi^2) \ddot{\phi} = \sum_{i,j=1}^2 \left[(-1)^{j-1} (F_{Kij} + F_{Cij}) t_{wi} \right] + \left\{ g \sin \phi + \left[\dot{v}_y + (\dot{\beta} + \dot{\psi}) v_x \right] \cos \phi \right\} m_s h_\phi \quad (2)$$

$$(J_\theta + m_s h_\theta^2) \ddot{\theta} = \sum_{i,j=1}^2 (-1)^{i-1} (F_{Kij} + F_{Cij}) b_i \quad (3)$$

$$m_{uij} \ddot{z}_{uij} = F_{KTij} - F_{Kij} - F_{Cij} \quad (4)$$

Trong đó:

$$F_{Kij} = K_{ij} \left[z_s - z_{uij} + (-1)^{j+1} t_{wi} \phi + (-1)^{i+1} b_i \theta \right] \quad (5)$$

$$F_{Cij} = C_{ij} \left[\dot{z}_s - \dot{z}_{uij} + (-1)^{j+1} t_{wi} \dot{\phi} + (-1)^{i+1} b_i \dot{\theta} \right] \quad (6)$$

$$F_{KTij} = K_{Tij} (z_{rij} - z_{uij}) \quad (7)$$

$$\beta = \arctan \frac{v_y}{v_x} \quad (8)$$

Các thành phần chuyển động của xe có thể được xác định dựa trên mô hình động lực học quay vòng. Mô hình này có 3 bậc tự do tương ứng với 3 phương chuyển động của xe (Tuan Anh Nguyen, 2020).

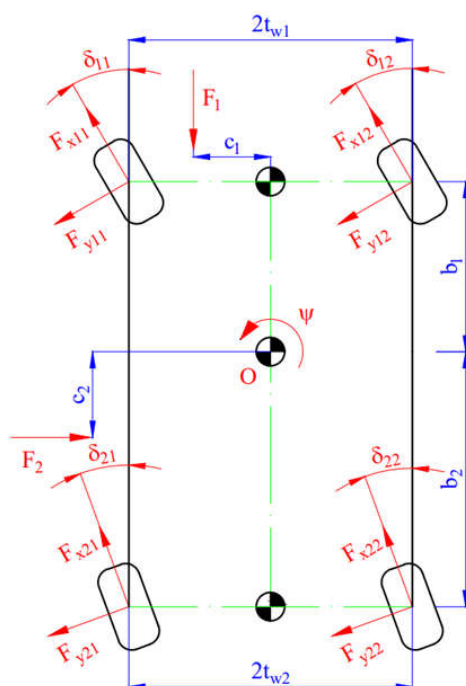
$$\left(m_s + \sum_{i,j=1}^2 m_{ij} \right) \dot{v}_x = \sum_{i,j=1}^2 (F_{xij} \cos \delta_{ij} - F_{yij} \sin \delta_{ij}) - F_1 + \left(m_s + \sum_{i,j=1}^2 m_{ij} \right) (\dot{\beta} + \dot{\psi}) v_y \quad (9)$$

$$\left(m_s + \sum_{i,j=1}^2 m_{ij} \right) \dot{v}_y = \sum_{i,j=1}^2 (F_{xij} \sin \delta_{ij} + F_{yij} \cos \delta_{ij}) - F_2 - \left(m_s + \sum_{i,j=1}^2 m_{ij} \right) (\dot{\beta} + \dot{\psi}) v_x \quad (10)$$

$$J_{\psi} \ddot{\psi} = \sum_{i,j=1}^2 \left[(-1)^j (F_{xij} \cos \delta_{ij} - F_{yij} \sin \delta_{ij}) t_{wi} + (-1)^{i+1} (F_{xij} \sin \delta_{ij} + F_{yij} \cos \delta_{ij}) b_i + F_i c_i - M_{zij} \right] \quad (11)$$

Để có thể giải được các phương trình trên, các lực và moment tại bánh xe như F_x , F_y và M_z cần phải được xác định trước. Có nhiều phương pháp được sử dụng để xác định các giá trị này. Trong

đó, mô hình lớp Pacejka với các thông số thực nghiệm thường có nhiều tính ưu việt hơn (Pacejka H.B., et al., 2007).



Hình 2. Mô hình động lực học hai dây phi tuyến

$$F_x = D_x \sin \left[C_x \arctan(B_x \kappa_x) \right] \quad (12)$$

$$F_y = D_y \sin \left[C_y \arctan(B_y \kappa_y) \right] + S_{vy} \quad (13)$$

$$M_z = D_z \sin \left[C_z \arctan(B_z \kappa_z) \right] + S_{vz} \quad (14)$$

3. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

3.1. Điều kiện mô phỏng

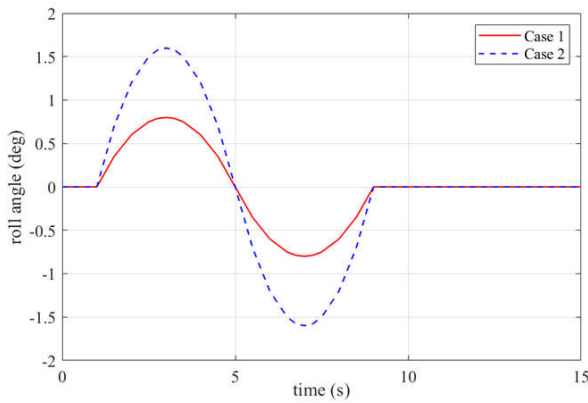
Quá trình mô phỏng được thực hiện trong môi trường MATLAB-Simulink với hai trường

hợp cụ thể tương ứng với hai góc đánh lái (Hình 3). Trong mỗi trường hợp, vận tốc của xe sẽ được thay đổi lần lượt với các giá trị: $v_1 = 30$ (km/h), $v_2 = 50$ (km/h), $v_3 = 70$ (km/h). Các kết quả đầu ra của bài toán mô phỏng bao gồm góc nghiêng thân xe, góc xoay thân xe, quỹ đạo thân xe, v.v..

Các thông số của quá trình mô phỏng được đưa ra như trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số tham khảo

Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Khối lượng được treo	m_s	1640	kg
Khối lượng không được treo	m_{uij}	38	kg
Khoảng cách từ trọng tâm đến cầu trước và cầu sau	b_1/b_2	1210/1610	mm
Một nửa chiều rộng cơ sở cầu trước và cầu sau	t_{w1}/t_{w2}	720/715	mm

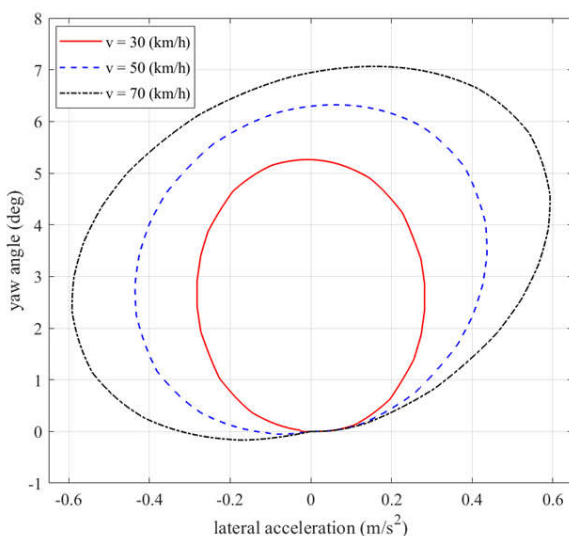


Hình 3. Góc đánh lái

3.2. Kết quả và đánh giá

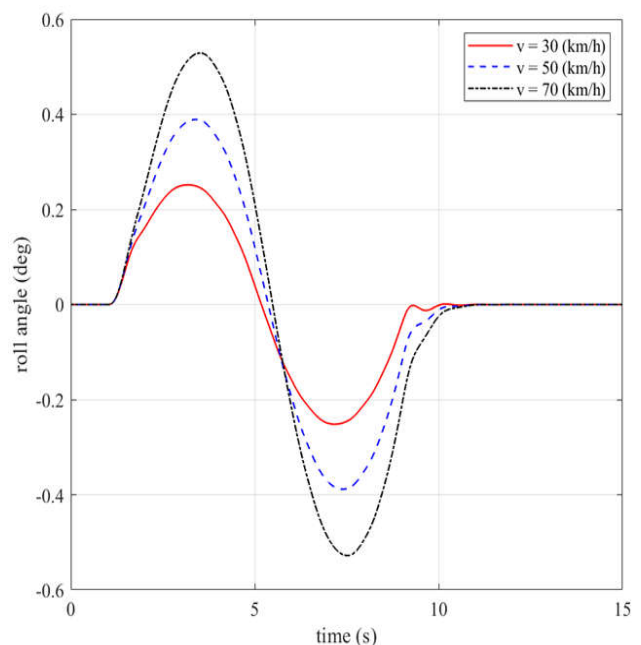
Trường hợp 1

Trong trường hợp thứ nhất, góc đánh lái ở bánh xe dẫn hướng là khá nhỏ. Biên độ của góc đánh lái chỉ khoảng $0,8^{\circ}$. Do đó, các giá trị đầu ra cũng chưa thực sự lớn. Hình 4 chỉ ra sự phụ thuộc giữa góc xoay thân xe (ψ) và gia tốc ngang (a_y) ở 3 dải vận tốc tương ứng v_1 , v_2 và v_3 . Theo kết quả này, khi gia tốc ngang xuất hiện, thân xe sẽ bị xoay. Góc xoay thay đổi liên tục dựa theo tín hiệu của gia tốc ngang. Khi quá trình đánh lái kết thúc (gia tốc ngang $a_y = 0$), góc xoay thân xe cũng giảm dần về không, xe quay trở lại trạng thái ổn định ban đầu. Nếu xe di chuyển ở tốc độ càng cao, giá trị của gia tốc ngang càng lớn, điều này khiến cho góc xoay thân xe cũng lớn hơn.



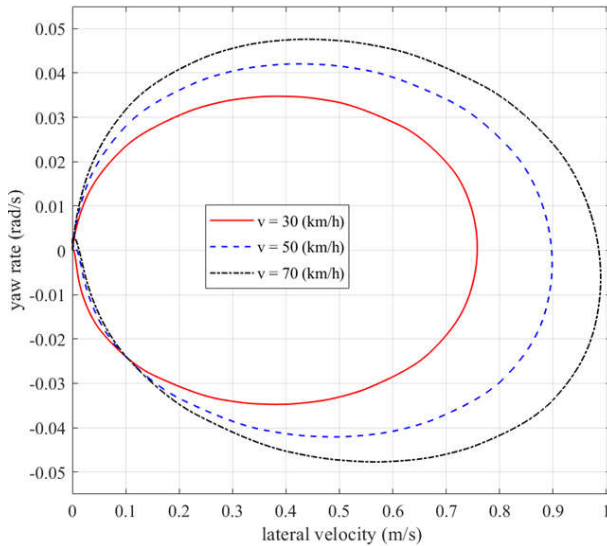
Hình 4. Sự phụ thuộc giữa góc xoay thân xe và gia tốc ngang

Dưới ảnh hưởng của lực ly tâm, thân xe sẽ bị nghiêng. Nếu lực ly tâm càng lớn, tức là gia tốc ngang càng lớn, thân xe sẽ bị nghiêng nhiều hơn. Sự thay đổi của góc nghiêng thân xe theo thời gian tại các giá trị vận tốc khác nhau được chỉ ra trên đồ thị Hình 5. Giá trị của góc nghiêng thân xe đạt lớn nhất ở vận tốc $v_3 = 70$ (km/h), đạt $0,53^{\circ}$. Các giá trị này giảm dần tương ứng với vận tốc $v_2 = 50$ (km/h) và $v_1 = 30$ (km/h), lần lượt đạt $0,39^{\circ}$ và $0,25^{\circ}$. Bởi vì xe chuyển làn với góc đánh lái nhỏ, giá trị của góc nghiêng sẽ không lớn. Điều này không thể gây ra hiện tượng lật xe.



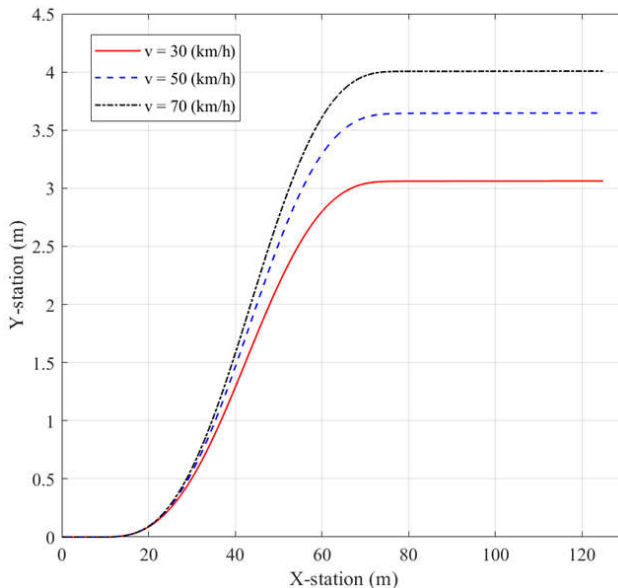
Hình 5. Sự thay đổi của góc nghiêng thân xe

Mối quan hệ giữa tốc độ xoay thân xe và vận tốc ngang được thể hiện như trên Hình 6. Góc xoay chỉ xuất hiện khi xe đánh lái. Do đó, tốc độ xoay sẽ tồn tại đồng thời cùng với vận tốc ngang của xe. Nếu vận tốc chuyển động của xe càng lớn, tốc độ xoay thân xe cũng sẽ lớn hơn. Sự thay đổi này là phi tuyến, rất khó để xác định chính xác mối liên hệ giữa chúng.



Hình 6. Sự phụ thuộc giữa tốc độ xoay của thân xe và vận tốc ngang

Khi xe chuyển làn, thông số được quan tâm nhất chính là quỹ đạo chuyển động của xe. Giá trị này giúp đánh giá một cách chính xác hiệu quả chuyển làn của xe. Với cùng một góc đánh lái, nếu vận tốc của xe càng lớn, quỹ đạo của xe cũng sẽ lớn hơn (Hình 7).

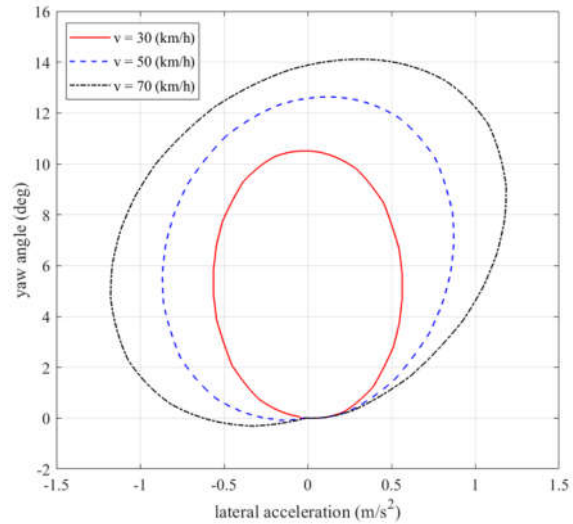


Hình 7. Quỹ đạo chuyển động của xe

Trường hợp 2

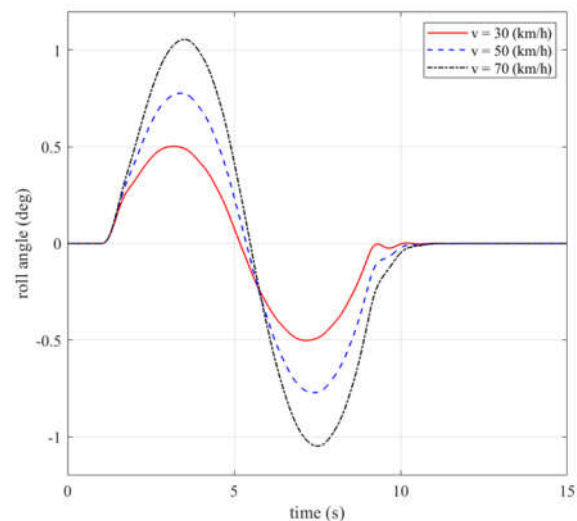
Trong trường hợp thứ hai, góc đánh lái của xe đã được tăng lên lớn hơn với biên độ đạt $1,6^\circ$. Do đó, các giá trị thu được từ quá trình khảo sát cũng

sẽ có sự thay đổi. Với góc đánh lái tăng gấp đôi, các giá trị về gia tốc ngang cũng tăng lên gần gấp đôi. Vì vậy, góc xoay thân xe cũng tăng lên tương ứng (Hình 8). Nhìn chung, biên dạng đường cong thể hiện sự phụ thuộc giữa góc xoay thân xe và vận tốc ngang trong trường hợp này vẫn tương tự như trường hợp thứ nhất. Điểm khác biệt duy nhất chính là độ lớn của chúng.



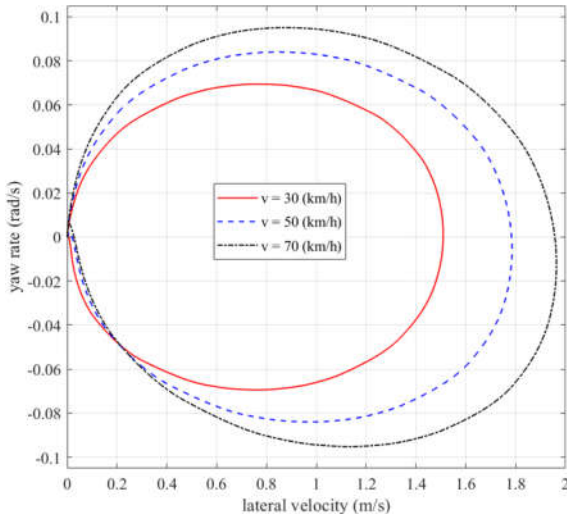
Hình 8. Sự phụ thuộc giữa góc xoay thân xe và gia tốc ngang.

Góc nghiêng của thân xe theo thời gian trong trường hợp này cũng lớn hơn (Hình 9). Các giá trị cực đại tương ứng với ba dải vận tốc lần lượt là $1,06^\circ$, $0,78^\circ$ và $0,50^\circ$. So với trường hợp ở trên, các giá trị thu được cũng có xu hướng tăng gấp 2 lần. Sau khi xe trả lái, góc nghiêng sẽ giảm dần về không.

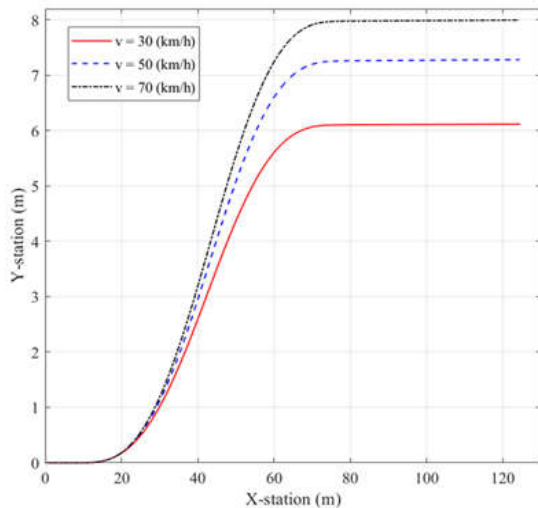


Hình 9. Sự thay đổi của góc nghiêng thân xe

Với góc đánh lái lớn hơn, sự biến dạng của bánh xe cũng lớn hơn. Vì vậy, vận tốc ngang của xe sẽ tăng lên. Điều này khiến cho góc xoay và tần số góc xoay thân xe cũng tăng lên một cách nhanh chóng. Ở tốc độ càng lớn, sự thay đổi cũng sẽ lớn hơn (Hình 10).



Hình 10. Sự phụ thuộc giữa tốc độ xoay của thân xe và vận tốc ngang



Hình 11. Quỹ đạo chuyển động của xe

Với góc đánh lái lớn hơn, quỹ đạo chuyển động của xe cũng lớn hơn, điều này được thể hiện trên đồ thị Hình 11. Do đó, cần phải ước lượng được khoảng cách giữa các làn đường và vận tốc tại thời điểm di chuyển để có thể đánh lái với một góc hợp lý để tránh hiện tượng xe bị lệch khỏi làn đường khi chuyển làn.

4. KẾT LUẬN

Sự ổn định và an toàn của xe khi đánh lái là vấn đề luôn được quan tâm hàng đầu. Các thông số đặc trưng cho sự ổn định này có thể được kể đến như là góc nghiêng ngang thân xe, góc xoay thân xe, quỹ đạo chuyển động của xe, ... Nếu sự thay đổi của các giá trị này quá lớn, tính ổn định của xe khi đánh lái có thể bị ảnh hưởng.

Bài báo này tập trung vào việc đánh giá sự ổn định của xe khi chuyển làn. Để mô phỏng chuyển động của xe, một mô hình động lực học phức hợp đã được thiết lập. Quá trình mô phỏng được thực hiện với hai trường hợp cụ thể. Trong mỗi trường hợp, vận tốc chuyển động của xe sẽ được thay đổi. Theo kết quả của nghiên cứu, khi góc đánh lái hoặc vận tốc di chuyển tăng lên, các thông số đặc trưng cho sự ổn định của xe cũng tăng lên. Trong một số trường hợp nguy hiểm, điều này có thể gây ảnh hưởng tới độ ổn định của xe. Do đó, cần phải xác định các điều kiện cụ thể trước khi đánh lái để đảm bảo quỹ đạo của xe không bị lệch khỏi làn đường mong muốn. Bên cạnh đó, giới hạn ổn định của ô tô (giới hạn của góc nghiêng ngang và góc xoay thân xe) cũng có thể được thiết lập dựa trên các số liệu đã thu thập được từ quá trình mô phỏng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Nguyễn Tuấn Anh, et al. (2019), “Ứng dụng Carsim đánh giá mô hình động lực học quay vòng của ô tô khi xác định quỹ đạo chuyển động”, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, Số đặc biệt (10/2019).
- Nguyen Trong Hoan, et al., (2021), “Research in Kinematics and Dynamics of Turn for Special Three Axles Trucks”, Journal of Science & Technology, 57(1), pp. 59-62.
- Liaw D.C., et al. (2006), “Control Design for Vehicle's Lateral Dynamics”, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics October 8-11, 2006, Taipei, Taiwan, pp. 2081-2086.

- Pacejka H.B., et al. (2007), *“The Magic Formula Tyre Model”*, Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 21:S1, pp. 1-18.
- Poussot-Vassal C., et al. (2007), *“Toward global chassis control by integrating the brake and suspension systems”*, 5th IFAC Symposium on Advances in Automotive Control, IFAC AAC 2007, Monterrey Coast: États-Unis d'Amérique.
- Poussot-Vassal C., et al. (2011), *“Vehicle dynamic stability improvements through gain-scheduled steering and braking control”*, Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 49(10), pp. 1597–1621.
- Taewon A., et al. (2021), *“Design of Integrated Autonomous Driving Control System that Incorporates Chassis Controllers for Improving Path Tracking Performance and Vehicle Stability”*, MDPI Electronics 2021, 10,144.
- Tuan Anh Nguyen, (2020), *“Establishing the Dynamics Model of the Vehicle Using the 4-Wheels Steering Systems”*, Mathematical Modelling of Engineering Problems, 7(3), September, 2020, pp. 436-44.
- Wielitzka M., et al. (2014), *“State Estimation of Vehicle’s Lateral Dynamics using Unscented Kalman Filter”*, 53rd IEEE Conference on Decision and Control December 15-17, 2014, pp. 5015-5020.
- Zhang H., et al. (2018), *“Input-Constrained LPV Output Feedback Control for Path Following of Autonomous Ground Vehicles”*, Annual American Control Conference (ACC) June 27–29, 2018. Wisconsin Center, Milwaukee, USA, pp. 3233-3238.

Abstract:

INVESTIGATION OF VEHICLE STABILITY WHEN CHANGING LANES BY COMPLEX DYNAMICS MODEL

This article investigates the stability of automobiles when changing lanes based on a complex dynamics model. This model is a combination of spatial dynamics model, nonlinear double-track dynamics model and nonlinear tire model. The input parameters of the simulation problem include velocity and steering angle. The output results obtained are the roll angle, yaw angle, and trajectory of the vehicle, ... The simulation process is performed by MATLAB-Simulink software with two specific cases. The results of the study show that when the vehicle is moving at high speed or steering with a larger steering angle, the change of output values is also larger. This can cause instability of the vehicle when moving in some special situations. Therefore, it is necessary to determine the travel conditions at each time in order to be able to choose the appropriate steering angle to change lanes.

Keywords: Dynamics vehicle, Single Lane Change, Simulation.

Ngày nhận bài: 25/4/2022

Ngày chấp nhận đăng: 14/5/2022