

XÂY DỰNG MÔ HÌNH PHI TUYẾN PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU QUỸ ĐẠO CHUYỂN ĐỘNG CỦA Ô TÔ TỰ LÁI

BUILDING A NONLINEAR MODEL OF CARS FOR RESEARCH ON MOTION TRAJECTORY OF AUTONOMOUS CARS

Lê Hữu Chúc¹, Vũ Văn Tấn^{2,*},
Trương Mạnh Hùng², Olivier Sename³

TÓM TẮT

Ô tô tự lái là một loại phương tiện trong tương lai và đang được tập trung nghiên cứu hoàn thiện trên phạm vi toàn thế giới. Nghiên cứu này đề cập đến tính cấp thiết, vai trò và công nghệ cơ bản của ô tô tự lái. Mô hình chuyển động của ô tô được xây dựng dựa trên mô hình hai vết bánh xe có sử dụng kết hợp với mô hình phi tuyến theo công thức thực nghiệm "Magic Formula" của Pacejka để xác định lực ngang của lốp. Bốn thành phần lực ngang phi tuyến của lốp được xác định là các thông số đầu vào của mô hình chuyển động hai vết bánh xe. Kết quả mô phỏng trong trường hợp quay vòng đều ở tốc độ 40km/h đã thể hiện rõ đặc tính động lực học quay vòng của ô tô tự lái đã phù hợp với thực tế và thể hiện được ưu điểm của mô hình phi tuyến khi khảo sát ở các vùng tốc độ cao. Nghiên cứu này là một phần trong hợp tác nghiên cứu về quỹ đạo chuyển động của ô tô tự lái giữa Trường Đại học Giao thông Vận tải và Đại học Bách khoa Grenoble INP - Pháp.

Từ khóa: Ô tô tự lái, Quỹ đạo chuyển động, Mô hình chuyển động, Magic Formula, An toàn chuyển động.

ABSTRACT

Autonomous cars are a type of vehicle in the future and are being researched on a worldwide scale. This research addresses the need, role and basic technology of autonomous cars. The motion model of cars is built based on the two-track tire model, which is used in combination with the nonlinear model according to Pacejka's Magic Formula to determine the tire lateral force. Four nonlinear tire force components are determined as input parameters of the two-track motion model. The simulation results in a cornering maneuver at a speed of 40 km/h have clearly shown that the rotational dynamics of autonomous cars are consistent with reality and show the advantages of the nonlinear model. This study is part of a research collaboration on autonomous cars between the University of Transport and Communications and the University of Grenoble Alpes (Grenoble INP - Institute of Engineering) - France.

Keywords: Autonomous cars, Motion trajectory, Motion model, Magic formula, Roadsafety.

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

²Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

³Đại học Bách khoa Grenoble INP - Pháp

*Email: vvtan@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 30/10/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/11/2021

Ngày chấp nhận đăng: 27/12/2021

1. MỞ ĐẦU

An toàn giao thông là một vấn đề hết sức quan trọng có phạm vi ảnh hưởng trên toàn thế giới. Theo thống kê của WHO hàng năm có khoảng 1,35 triệu người chết vì tai nạn giao thông, trong số đó tai nạn giao thông đường bộ là một trong các dạng tai nạn gây hậu quả nặng nề nhất. Về khía cạnh thiệt hại từ tai nạn giao thông chiếm khoảng 2,5% GDP toàn cầu, tương đương 1.500 tỷ USD/năm. Ở Việt Nam những năm gần đây các phương tiện tham gia giao thông đường bộ có tốc độ phát triển nhanh, kéo theo đó là vấn đề an toàn giao thông cho loại hình phương tiện này ngày càng phức tạp. Trong 5 năm (15-10-2015 đến 14-10-2020), trên phạm vi cả nước xảy ra 94.024 vụ tai nạn giao thông làm chết 39.917 người, bị thương 77.477 người. Trong khi kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ chưa phát triển tương xứng, ý thức chấp hành Luật Giao thông đường bộ của một bộ phận không nhỏ người tham gia giao thông còn thấp, dẫn đến tình hình tai nạn giao thông đường bộ trong những năm qua có diễn biến phức tạp. Số vụ tai nạn giao thông đường bộ luôn chiếm tỷ lệ cao nhất trên tổng số vụ tai nạn giao thông.

Nguyên nhân gây ra tai nạn giao thông bao gồm cả yếu tố khách quan và chủ quan. Các yếu tố khách quan như: cơ sở hạ tầng giao thông chưa hoàn chỉnh dẫn đến tồn tại nhiều điểm đen thường gây ra các vụ tai nạn giao thông; công tác khai thác, quản lý và giám sát hoạt động vận tải còn buông lỏng; ý thức chấp hành luật an toàn giao thông đường bộ của người tham gia giao thông còn chưa tốt; chất lượng kỹ thuật của các phương tiện tham gia giao thông chưa tốt và không đồng đều [1, 2]. Bên cạnh đó yếu tố chủ quan xuất phát từ người lái xe cũng chiếm một tỷ trọng lớn, cụ thể số lượng vụ tai nạn giao thông do người điều khiển phương tiện vi phạm làn đường chiếm tới hơn 20%, vi phạm tốc độ xe chiếm hơn 5%, sử dụng các chất kích thích chiếm hơn 1%. Trong các yếu tố về ý thức người tham gia giao thông có hai điểm quan trọng liên quan đến lái xe:

+ Lái xe sau khi sử dụng rượu và các chất kích thích thần kinh khác;

+ Lái xe mất tập trung: Người lái xe cố gắng lái xe trong khi mệt mỏi, buồn ngủ; phóng nhanh vượt ẩu, tin tưởng

vào khả năng điều khiển phương tiện của mình; mất tập trung do phân tâm bởi các hoạt động như: sử dụng điện thoại, nghe nhạc, nói chuyện trong khi điều khiển xe; nhầm lẫn giữa điều khiển chân ga, chân phanh hoặc xử lý tình huống lái xe không tốt, chạy quá tốc độ, lấn làn, lấn đường. Đặc biệt là những lỗi này thường do lái xe có kinh nghiệm gây ra và tai nạn thường xảy ra vào khoảng thời gian chiều tối đến rạng sáng, thời điểm có ít lực lượng tuần tra kiểm soát trên đường. Mặt khác khi cầm lái họ thường thao tác theo bản năng, kinh nghiệm lái xe của mình mà lơ là mất cảnh giác, gây tai nạn giao thông cho những người tham gia giao thông khác.

Hiện nay có nhiều các công ty, tổ chức, các phòng nghiên cứu đã đưa ra các giải pháp để giảm thiểu các vụ tai nạn, đảm bảo an toàn cho ô tô khi di chuyển trên đường. Trong đó các hệ thống an toàn chủ động và bị động đã được phát triển và ứng dụng trên ô tô như: Hệ thống dây đai túi khí (SRS), hệ thống chống bó cứng phanh (ABS), hệ thống ổn định thân xe (ESP), hệ thống hỗ trợ lực phanh khẩn cấp (BA)... Các hệ thống này được phát triển ở cấp độ cao hơn chính là hệ thống hỗ trợ lái xe ADAS [3,4]. Tuy nhiên, nhờ sự phát triển của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 với trí tuệ nhân tạo, các nghiên cứu đã tạo ra ô tô tự lái hoàn toàn thay thế cho con người nhằm loại bỏ các nhược điểm về nhân trắc học và giảm mệt mỏi cho con người. Do vậy định hướng nghiên cứu quỹ đạo chuyển động của ô tô tự lái mang tính thời sự và cần thiết với sự phát triển khoa học công nghệ chung trên toàn thế giới.

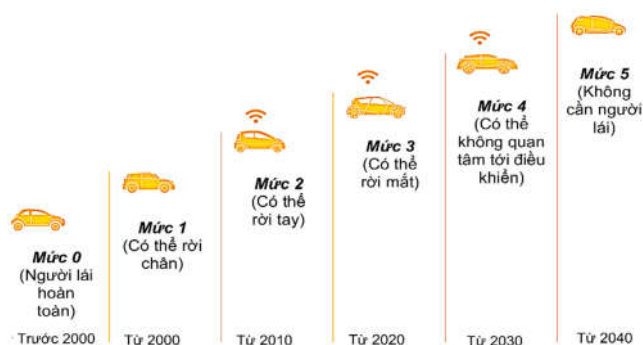
Ở trong nước đã có một số công trình nghiên cứu về ô tô tự lái có thể kể đến như sau: “*Proposing an effective inference method for complex non-linear neural dynamic systems*” của Bùi Hải Hưng, 2020: Công trình khoa học này trình bày nghiên cứu về biểu diễn dữ liệu và các hệ thống phi tuyến làm nền tảng cho những bước đột phá trong việc phát triển rõ bộ tự hành hoặc ô tô tự lái. “*FPT Automatic Driving Platform*” của công ty FPT Software, được trình bày tại hội nghị FPT TechDay 2019: nhóm nghiên cứu đã giới thiệu kết quả thử nghiệm xe tự hành tiệm cận cấp độ 3 với các chức năng: tự căn làn, rẽ theo vạch đường, tránh vật cản cố định hoặc di động, phanh gấp khi cần thiết, đón trả khách tại điểm cố định, vượt qua một số dạng đường có độ dốc và trạng thái khác nhau. “*Application of neural networks to design the controller for autonomous vehicles by learning driver's behavior*” của tác giả Vũ Tiến Đạt, được công bố tại International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), 2013, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh. Công trình nghiên cứu đề cập tới một ứng dụng của Neural Networks (NN) cho xe tự hành. Phương pháp này có thể kết hợp với bộ điều khiển tuyến tính bậc hai (LQR) cho xe tự hành ở trạng thái ổn định. Cấu trúc NN được thiết kế với sự tham chiếu của mô hình trình điều khiển. Hai tế bào thần kinh đơn lẻ hoạt động như bộ lọc trong đó đường dẫn được xem trước có trọng số. Mô hình ô tô khi xem xét ở dạng động lực học phi tuyến cho phép tiệm cận với một chiếc ô tô thực tế. Phương pháp NN cho phép ô tô tự lái có thể thích ứng

với nhiều loại đường khác nhau. “*Towards automatic parking systems for vehicles*” của các tác giả Vũ Văn Tấn, Olivier Sename, Phạm Tất Thắng, Đào Mạnh Hùng, được công bố tại International Conference on Building Smart City in Vietnam: Vision and Solutions, Ho Chi Minh, Vietnam, 2018. Công bố trình bày về cấu trúc và nguyên lý cơ bản của hệ thống tự động đưa ô tô vào vị trí đỗ. Hai trường hợp đỗ xe cơ bản là ghép xe song song và đưa xe vào điểm đỗ được thiết lập một cách chi tiết. “*Intelligent and autonomous vehicles for improving transport and road safety in Vietnam*” của hai tác giả Olivier Sename, Vũ Văn Tấn. Đây là dự án hợp tác nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp quốc tế thông qua ngân sách tài chính từ Đại sứ quán Pháp tại Việt Nam năm 2018-2019. Dự án tập trung khảo sát tình hình mất an toàn giao thông ở Việt Nam và các giải pháp mới nhằm thúc đẩy các công nghệ mới cho ngành công nghiệp ô tô trong nước. “*Kết hợp phương pháp RRT và Stanley cho ô tô tự lái vào bãi đậu xe*” của các tác giả Bùi Đức Tiến, Vũ Văn Tấn, Trần Văn Đà được công bố tại Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Công nghiệp Hà Nội, năm 2021. Nghiên cứu này tập trung vào áp dụng phương pháp cây ngẫu nhiên RRT để tìm đường đi tham chiếu tối ưu cho ô tô và phương pháp Stanley để điều khiển ô tô đi theo đường đi tham chiếu của ô tô tự lái khi di chuyển trong bãi đỗ xe tự động.

Có thể nhận thấy các đề tài, dự án về lĩnh vực ô tô tự lái tại Việt Nam theo hướng xây dựng, phát triển các thuật toán dành cho ô tô tự lái còn khá nhiều hạn chế. Việc nghiên cứu hướng xây dựng, phát triển thuật toán và thực nghiệm có ý nghĩa hết sức quan trọng với Việt Nam. Nghiên cứu này tập trung vào xây dựng mô hình chuyển động và là bước ban đầu trong nghiên cứu chi tiết về quỹ đạo chuyển động của ô tô tự lái.

2. CÔNG NGHỆ Ô TÔ TỰ LÁI

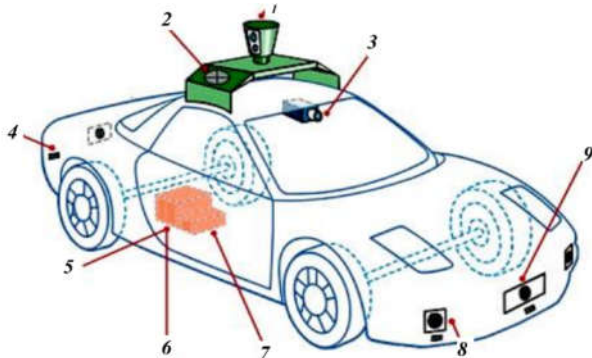
Theo hiệp hội kỹ sư ô tô thế giới, việc điều khiển quỹ đạo chuyển động là yếu tố tiên quyết dẫn đến thành công của ô tô tự lái. Với 5 cấp độ tự lái thì cấp độ cuối cùng được dự đoán là được áp dụng phổ biến từ năm 2040 theo như mức độ cấp tự động trong hình 1. Hướng nghiên cứu về ô tô tự lái tại Việt Nam tập trung chủ yếu ở các công ty công nghệ như FPT, PhenikaaX, Vinbigdata.



Hình 1. Mức độ tự động hóa theo năm phát triển [5]

Ô tô tự lái sử dụng nhiều công nghệ để phát triển xung quanh như: Radar, lidar, Camera, GPS, IMU, V2X. Hệ thống

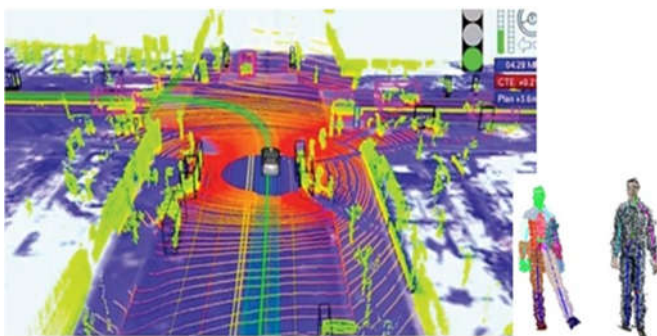
kiểm soát sẽ phân tích và xử lý chính xác các thông tin để xác định đường dẫn hướng, cũng như chướng ngại vật và biển báo liên quan cho chiếc xe vận hành an toàn. Với đặc điểm khác biệt này, ô tô tự lái sẽ có khả năng biến đổi thích ứng cao với sự thay đổi của công nghệ. Trên hình 2 là mô hình chiếc xe tự hành với các công nghệ kỹ thuật số lắp đặt trên xe [6].



Hình 2. Các thiết bị quan trọng trên ô tô tự lái

1- Lidar; 2- GPS; 3- Camera; 4- Cảm biến siêu âm; 5, 6- Thiết bị phát hiện giao tiếp ở khoảng cách gần; 7- Hệ thống định vị quán tính; 8- Cảm biến hồng ngoại; 9- Radar.

Lidar (*Light Detection and Ranging*): là một thiết bị dùng để phát hiện, đo khoảng cách tới các đối tượng xung quanh và có thể xây dựng lên bản đồ 3D. Nguyên tắc hoạt động của Lidar là chúng chiếu chùm tia sáng tới vật thể và thu nhận ánh sáng phản xạ. Với nguyên tắc này nó có thể đo khoảng cách tất cả các vật thể xung quanh bằng cách tính toán thời gian mà tia sáng được phát đi và thu về. Lidar kết hợp với các thiết bị khác để phục vụ các mục đích sử dụng khác nhau, ví dụ kết hợp với GPS để phục vụ trên ô tô tự lái. Trên ô tô tự lái, thiết bị này gắn trên 1 một vỏ hình trụ có khả năng quay 360° được đặt trên nóc xe. Lidar hoạt động sẽ lập lên bản đồ 3D môi trường và các vị trí trên đường với góc quay 360°, chúng sử dụng tia laser, tia cực tím, ánh sáng nhìn thấy hoặc ánh sáng hồng ngoại để chụp ảnh đối tượng. Dữ liệu này được đưa vào máy tính tạo ra bản đồ 3D môi trường xung quanh với độ chính xác cao. Độ chính xác của bản đồ này tính bằng *cm* vì bước sóng ánh sáng được sử dụng rất nhỏ và có thể phản chiếu tất cả các loại bề mặt ngay cả các vật thể nhỏ.



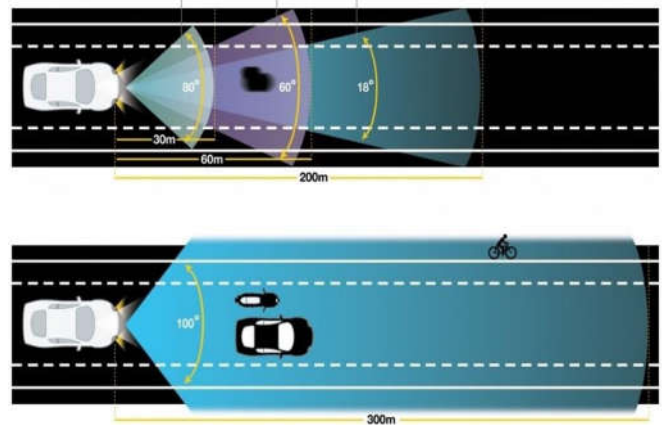
Hình 3. Xây dựng bản đồ hình ảnh 3D của Lidar

Radar (*Radio Detection and Ranging*). Thiết bị này xác định được vận tốc tương đối giữa vật thể và ô tô bằng việc

sử dụng sóng điện từ. Trong quá trình đo, nó sẽ phát ra một tín hiệu và đợi tín hiệu phản hồi ngược lại. So với Lidar, Radar sử dụng sóng dài hơn và năng lượng tín hiệu thấp hơn. Tuy nhiên, nó không thể mô tả được hình dạng của không gian được quét. Các tín hiệu phản hồi có thể gặp sự cố đối với các vật thể không phải là kim loại hoặc có hình dáng đặc biệt.

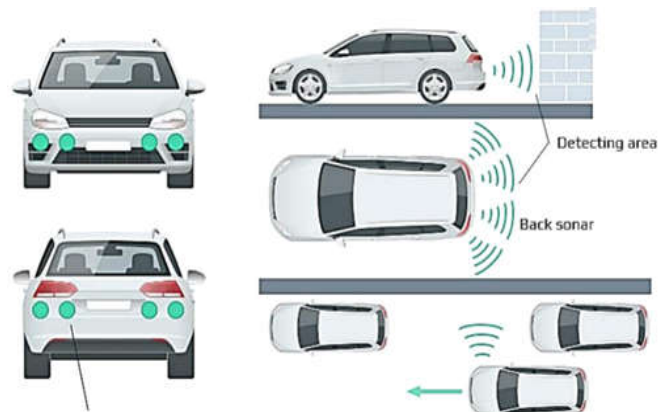


Hình 4. Giao tiếp giữa các phương tiện bằng tín hiệu Radar



Hình 5. Khả năng hoạt động của sóng Radar

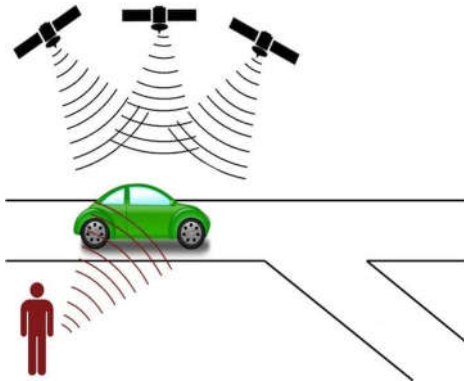
Cảm biến siêu âm (*Ultrasonic Sensors*). Chúng được gắn trên các mặt khác nhau của xe để phát hiện các đối tượng rất gần xe hoặc dùng để xác định khoảng cách tới phương tiện khác trong quá trình đỗ xe. Các cảm biến này cung cấp hỗ trợ đỗ xe, cảnh báo va chạm, cảnh báo chệch làn đường cùng các chức năng khác.



Hình 6. Cảm biến siêu âm sử dụng trong ô tô tự lái

Máy quay (Video Cameras): được lắp ở trên cùng của kính trước, gần gương chiếu hậu, chúng xây dựng ảnh 3D thời gian thực đường đi phía trước xe. Chúng được sử dụng để phát hiện đèn giao thông, biển báo giao thông, những thứ bất ngờ như động vật hoặc người đi bộ, vạch kẻ đường... Máy quay còn giúp nhận dạng những hình ảnh đặc thù mà các cảm biến khác không hiểu được như: vẫy tay hoặc các cọc tiêu giao thông mềm trên đường.

Hệ thống định vị toàn cầu GPS (Global Positioning System): là hệ thống xác định vị trí dựa trên vị trí của các vệ tinh nhân tạo, do Bộ Quốc phòng Hoa Kỳ thiết kế, xây dựng, vận hành và quản lý. Tại cùng một thời điểm, tọa độ của một điểm bất kỳ trên mặt đất sẽ được xác định nếu xác định được khoảng cách từ điểm đó đến ít nhất ba vệ tinh.



Hình 7. Định vị toàn cầu GPS



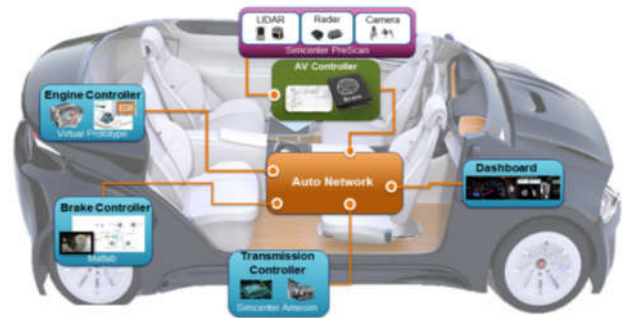
Hình 8. Dẫn đường cho ô tô tự lái theo bản đồ Google map

Đơn vị đo quán tính (IMU - Inertial Measurement Unit). Dữ liệu riêng lẻ từ GPS có độ chính xác kém, vì vậy dữ liệu này được kết hợp với đầu ra từ IMU. IMU sử dụng đồng thời gia tốc kế, con quay hồi chuyển và từ kế. IMU là một thiết bị đo lường điện tử, nó cung cấp thông tin về vận tốc, hướng, lực trọng trường... Mặt khác, IMU giúp hệ thống GPS hoạt động khi không có tín hiệu như trong đường hầm, điều kiện thời tiết xấu hay khi có sự giao thoa sóng điện từ [7, 8].



Hình 9. IMU dành cho ô tô tự hành

Máy tính trung tâm (CPU- Central Processing Unit). Tất cả dữ liệu thu được từ hệ thống các cảm biến sẽ được đưa tới máy tính trung tâm đặt trong xe, chúng xử lý dữ liệu này ở tốc độ cao. Cùng với sự trợ giúp của phần mềm rất phức tạp, chúng sẽ đưa ra quyết định cần thiết và gửi tín hiệu điều khiển tới các bộ phận chấp hành như: hệ thống lái, mức độ ga và hệ thống phanh. Máy tính cũng được kết nối với internet và hệ thống GPS để giám sát thời gian thực và cập nhật [9].

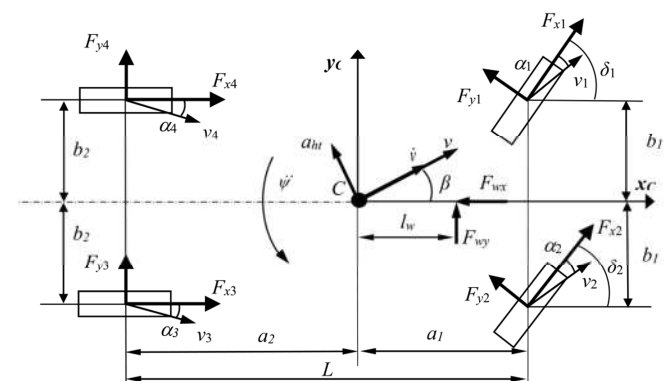


Hình 10. ECU - Bộ xử lý trung tâm của xe

Đối với việc phát triển ô tô tự lái thì phần mềm đóng vai trò quan trọng nhất. Nó được ví như não bộ, đảm bảo sự vận hành cho xe. Nếu trước đây, ô tô đặc trưng bởi động cơ, hộp số, bộ dẫn động, vô lăng điều khiển, xăng dầu... thì ngày nay, nó giống như một chiếc máy tính. Phần mềm và điện đã thay thế chức năng của các yếu tố cơ học, con người và nhiên liệu. Một chiếc xe hiện đại được điều khiển bởi 80 tới 100 hệ thống nhúng, 90% sáng tạo của xe hơi hiện nằm ở phần mềm, 100% xe sẽ kết nối với Cloud (điện toán đám mây). Để giải thích rõ hơn về vấn đề phần mềm quan trọng như thế nào với ô tô tự lái, các chủ đề sau cần quan tâm: điều hướng kết hợp, đồng nhất và tách rời, hệ thống liên lạc trên xe, có thể lập trình lại, theo dõi kỹ thuật số và mô đun.

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA Ô TÔ TỰ LÁI

3.1. Mô hình chuyển động của ô tô trong mặt phẳng ngang



Hình 11. Mô hình chuyển động dạng hai vết của ô tô tự lái trong mặt phẳng ngang

Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng mô hình hai vết của ô tô trong trường hợp tổng quát khi chịu tác dụng của phản lực dọc và phản lực ngang từ mặt đường

lên các bánh xe, lực gió ngang F_{wy} và lực cản không khí F_{wx} với giả thiết tải trọng tĩnh phân bố đối xứng theo phương chuyển động của ô tô. Bằng cách giả thiết rằng thân xe cứng tuyệt đối và trọng lượng tập trung tại trọng tâm của ô tô, bỏ qua mấp mô mặt đường, dao động theo phương thẳng đứng, mô hình chuyển động của ô tô được thể hiện như hình 11 [10].

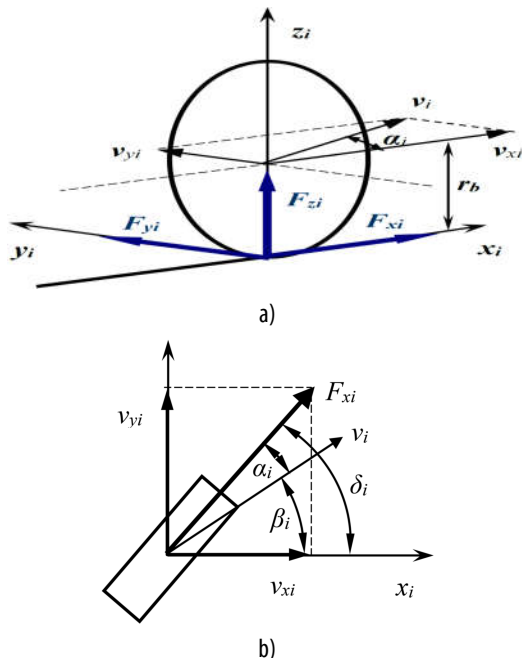
Sử dụng nguyên lý D'Alembert thu được các phương trình vi phân chuyển động của ô tô trong hình 11 được xác định như sau:

$$\begin{cases} -m\ddot{v} + m\dot{v}(\dot{\psi} + \dot{\beta})\beta + F_{x1} - F_{y1}\delta_1 + F_{x2} - F_{y2}\delta_2 + F_{x3} + F_{x4} - F_{wx} = 0 \\ -m\dot{v}\beta - m\dot{v}(\dot{\psi} + \dot{\beta}) + F_{x1}\delta_1 + F_{y1} + F_{x2}\delta_2 + F_{y2} + F_{y3} + F_{y4} + F_{wy} = 0 \\ -J_z\ddot{\psi} - (F_{x1} - F_{y1}\delta_1)b_1 + (F_{x1}\delta_1 + F_{y1})a_1 + (F_{x2} - F_{y2}\delta_2)b_1 + (F_{x2}\delta_2 + F_{y2})a_1 + F_{x3}b_2 - F_{y3}a_2 - F_{x4}b_2 - F_{y4}a_2 + F_{wy}l_w = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Phương trình (1) được viết dưới dạng vi phân cho ba biến v, β, ψ như sau:

$$\begin{cases} \dot{v} = v(\dot{\psi} + \dot{\beta})\beta + \frac{1}{m} \begin{pmatrix} F_{x1} - F_{y1}\delta_1 + F_{x2} \\ -F_{y2}\delta_2 + F_{x3} + F_{x4} - F_{wx} \end{pmatrix} \\ \dot{\beta} = -\dot{\psi} - \frac{v}{\dot{v}}\beta + \frac{1}{mv} \begin{pmatrix} F_{x1}\delta_1 + F_{y1} + F_{x2}\delta_2 \\ +F_{y2} + F_{y3} + F_{y4} + F_{wy} \end{pmatrix} \\ \ddot{\psi} = \frac{1}{J_z} \begin{bmatrix} -(F_{x1} - F_{y1}\delta_1)b_1 + (F_{x1}\delta_1 + F_{y1})a_1 \\ + (F_{x2} - F_{y2}\delta_2)b_2 + (F_{x2}\delta_2 + F_{y2})a_1 \\ + F_{x3}b_2 - F_{y3}a_2 - F_{x4}b_2 - F_{y4}a_2 + F_{wy}l_w \end{bmatrix} \end{cases} \quad (2)$$

3.2. Mô hình động lực học của bánh xe đàn hồi



Hình 12. Các lực tác dụng và góc quay của bánh xe

Mô hình động lực học của bánh xe đàn hồi nhằm xác định giá trị của phản lực ngang $F_y(\alpha)$ dựa vào góc lệch bên

α_i của lớp. Mô hình được thể hiện trong hình 12 với v_{xi}, v_{yi} là vận tốc dọc, ngang của bánh xe, v_i là tổng hợp vận tốc của bánh xe và β_i là góc hợp bởi phương vận tốc v_i và phương chuyển động của thân xe. F_{zi}, F_{yi}, F_{xi} là ba thành phần phản lực thẳng đứng, dọc và ngang [10].

Góc lệch bên của các bánh xe có thể xác định như sau:

$$\alpha_i = \delta_i - \beta_i, i = (1, 2, 3, 4)$$

Trong đó: δ_1, δ_2 góc là góc quay của bánh xe dẫn hướng, $\delta_3 = 0, \delta_4 = 0$. Góc lệch giữa phương vận tốc v_i của các bánh xe và phương chuyển động x của ô tô được xác định bởi:

$$\beta_i = \arctan \frac{v_{yi}}{v_{xi}}$$

Khả năng ổn định hướng chuyển động của ô tô được đặc trưng bởi độ lớn của phản lực ngang từ mặt đường tác dụng lên các bánh xe F_{yi} . Giá trị này phụ thuộc vào góc lệch bên của lớp α_i và tải trọng thẳng đứng tác dụng lên lớp F_{zi} theo công thức thực nghiệm "Magic Formula" của Pacejka:

$$F_y(\alpha) = D \sin(C \arctan(B\alpha - E(B\alpha - \arctan(B\alpha))))$$

Trong đó:

+ $C = 1,3$ là nhân tố hình dáng

+ $D = a_1 F_z^2 + a_2 F_z$ là nhân tố ảnh hưởng đến giá trị đỉnh

+ $B = \frac{a_3 \sin(\arctan(a_4 F_z^2 + a_5 F_z))}{CD}$ là nhân tố độ cứng dọc của lớp

+ $BCD = a_3 \sin(\arctan(a_4 F_z^2 + a_5 F_z))$ là độ cứng dọc của lớp

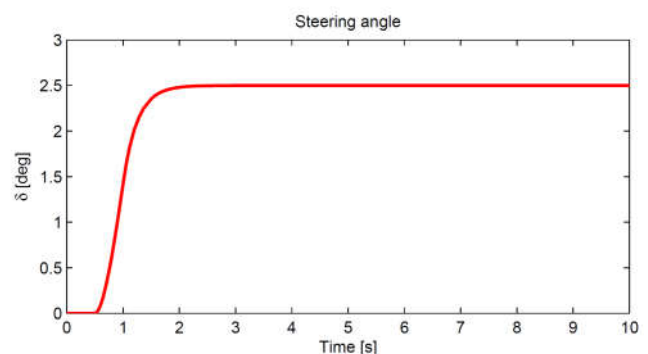
+ $E = a_6 F_z^2 + a_7 F_z + a_8$ là nhân tố ảnh hưởng đến độ cong

+ $a = [a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 a_8]$ là các hệ số phụ thuộc vào kiểu và loại lớp.

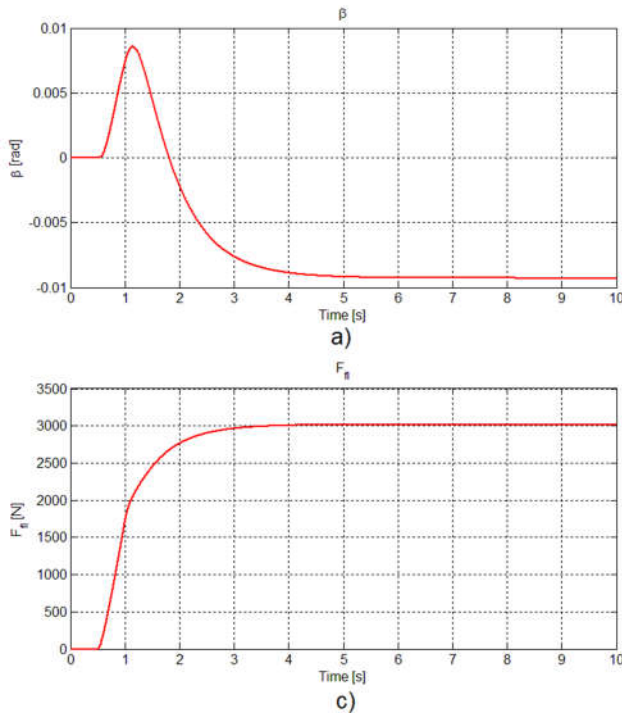
Trong phần tiếp theo, các tác giả sẽ mô phỏng và đánh giá quỹ đạo chuyển động chuyển động của ô tô thông qua phần mềm Matlab/Simulink.

4. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Từ phương trình (1) đến (5), thông số đầu vào làm thay đổi quỹ đạo chuyển động của ô tô là góc đánh lái. Trong nghiên cứu này, kịch bản được khảo sát là ô tô quay vòng đều với vận tốc 40km/h, bán kính quay vòng 48m. Hình 13 mô tả góc đánh lái của ô tô cho kịch bản khảo sát [11].



Hình 13. Góc đánh lái của ô tô



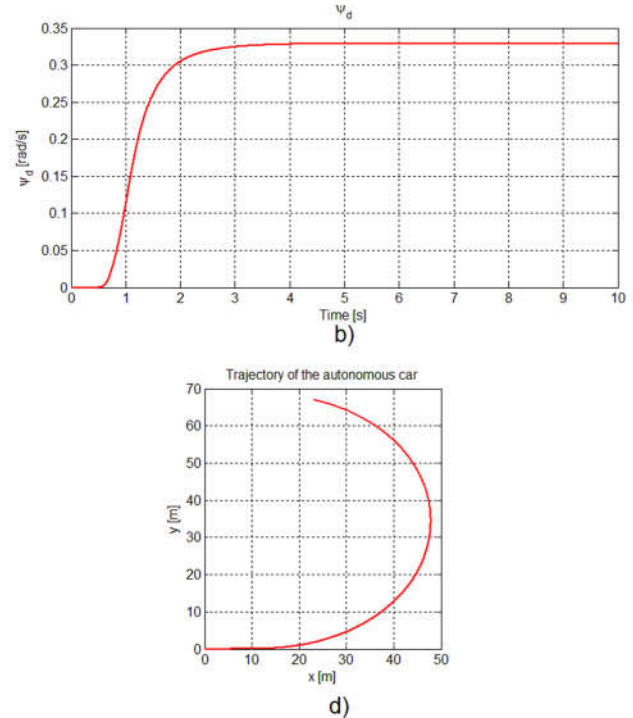
Hình 14. Góc lệch thân xe - a, vận tốc góc xoay thân xe - b, lực ngang ở bánh xe cầu trước bên trái - c, quỹ đạo chuyển động của ô tô - d

Hình 14a thể hiện đáp ứng theo thời gian của góc lệch thân xe β , góc lệch bắt đầu xuất hiện ở 0,5 giây theo đúng góc đánh lái và dần ổn định từ giây thứ 4. Hình 14b, c thể hiện vận tốc góc xoay thân xe và lực ngang ở bánh xe cầu trước bên trái, các biến bắt đầu thay đổi ở 0,5 giây và tăng dần đến ổn định từ giây thứ 3,5. Hình 14d thể hiện quỹ đạo chuyển động của ô tô tự lái, kết quả cho thấy quỹ đạo chuyển động của ô tô tạo ra cung tròn với bán kính quay vòng 48m đúng như mong muốn từ góc đánh lái. Kết quả mô phỏng này phù hợp với đặc tính quay vòng của ô tô nói chung và ô tô tự lái nói riêng.

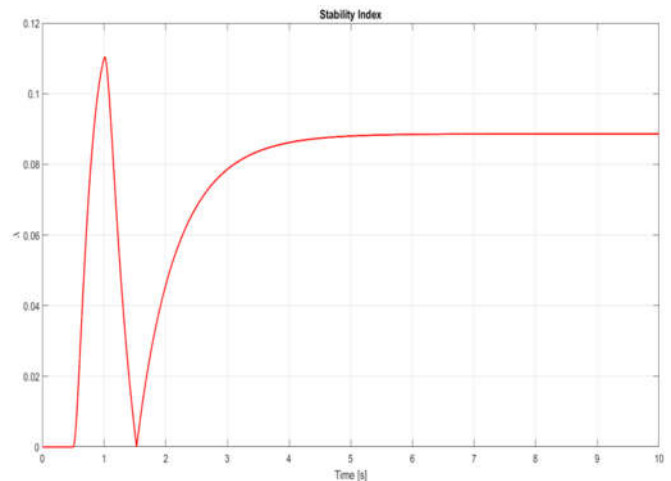
Bên cạnh đó, kết quả mô phỏng khi thay đổi tốc độ chuyển động của ô tô cho thấy, khi tốc độ của ô tô đạt 47km/h thì giá trị của lực ngang ở các bánh xe và các biến liên quan đến động lực học quay vòng đều mất ổn định từ giây thứ 3, điều này được lý giải là khi bán kính quay vòng của ô tô tiến đến gần ổn định thì có xu hướng dần nhỏ lại và tạo ra lực quán tính lý tâm tăng lên, đến ngưỡng giới hạn mà bánh xe bên trái bị nhấc lên khỏi mặt đường, tức là ô tô mất ổn định ngang thì động lực học quay vòng của ô tô thay đổi nhanh chóng. Điều này đã cho thấy ưu điểm của mô hình phi tuyến theo công thức thực nghiệm "Magic Formula" của Pacejka để xác định lực ngang của lốp.

Khả năng dẫn hướng của ô tô tự lái được đánh giá thông qua chỉ số ổn định dẫn hướng λ [12] được xác định theo công thức (6). Ô tô được xác định đạt ổn định khi giá trị của hệ số λ không vượt quá 1. Khi giá trị của λ càng nhỏ thì tính ổn định dẫn hướng của ô tô càng tốt.

$$\lambda = |2,49\dot{\beta} + 9,55\beta| \quad (6)$$



Trong kịch bản ô tô chuyển động quay vòng đều ở tốc độ 40km/h, đáp ứng theo thời gian của hệ số ổn định dẫn hướng được thể hiện trong hình 15. Kết quả mô phỏng cho thấy, giá trị độ lớn tối đa của λ đạt 0,11, giá trị này khá nhỏ, như vậy tính ổn định dẫn hướng của ô tô được đảm bảo trong kịch bản khảo sát.



Hình 15. Hệ số ổn định dẫn hướng

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày các kết quả nghiên cứu ban đầu trong chương trình hợp tác dài hạn của nhóm nghiên cứu về quỹ đạo chuyển động của ô tô tự lái giữa Trường Đại học Giao thông Vận tải và Đại học Bách khoa Grenoble INP - Pháp. Nghiên cứu đề cập đến tính cấp thiết trong việc nghiên cứu về ô tô tự lái và các công nghệ cơ bản trên ô tô tự lái. Mô hình chuyển động của ô tô tự lái ở dạng hai vết có sử dụng kết hợp với mô hình phi tuyến theo công thức thực nghiệm "Magic Formula" của Pacejka để xác định lực

ngang của lốp. Kết quả mô phỏng trong trường hợp quay vòng đều đã thể hiện rõ đặc tính động lực học quay vòng của ô tô tự lái đã phù hợp với thực tế và thể hiện được ưu điểm của mô hình phi tuyến.

Hướng nghiên cứu tiếp theo được xác định là thiết lập quỹ đạo chuyển động của ô tô tự lái dựa trên các cảm biến quan sát mô trường xung quanh của ô tô, thông qua các phương pháp điều khiển nâng cao, trí tuệ nhân tạo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tran Van Loi, Nguyen Van Bang, Tran Van Nhu, 2016. *Simulation of car lane change using Steer By Wire steering system*. Proceedings of the 48th Science and Technology Club Conference of Technical Universities.
- [2]. Tran Van Loi, 2010. *Research and manufacture a model of a steering system without a steering wheel*. Master thesis, Ho Chi Minh City University of Technology and Education.
- [3]. Jazar R. N., 2013. *Vehicles Dynamics, Theory and Application*. Berlin: Springer.
- [4]. Hans B. Pacejka, 2005. *Tyre and Vehicle Dynamics, Second edition*. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP.
- [5]. S. Hima, B. Lusseti, B. Vanholme, S. Glaser, S. Mammar, 2011. *Trajectory tracking for highly automated passenger vehicles*. IFAC Proceedings Volumes, 44(1):12958 - 12963.
- [6]. GM. Hoffmann, CJ. Tomlin, M. Montemerlo, S. Thrun, 2007. *Autonomous automobile trajectory tracking for off-road driving: Controller design, experimental validation and racing*. In American Control Conference, 2007. ACC'07, pages 2296 - 2301.
- [7]. EM. Lim, 1998. *Lateral and longitudinal vehicle control coupling in the automated highway system*. PhD thesis, University of California at Berkeley.
- [8]. D. Heß, M. Althoff, T. Sattel, 2013. *Comparison of trajectory tracking controllers for emergency situations*. In Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE, pages 163–170.
- [9]. K. Chu, M. Lee, M. Sunwoo, 2012. *Local path planning for off-road autonomous, driving with avoidance of static obstacles*. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, 13(4):1599 - 1616.
- [10]. Nguyen Anh Tuan, 2017. *Research on controlling the transmission ratio of the steering system to increase the stability of the vehicle's motion trajectory*. PhD thesis, University of Transport and Communications.

[11]. Vu Van Tan, 2017. *Enhancing the roll stability of heavy vehicles by using an active anti-roll bar system*. PhD thesis, University Grenoble Alpes.

[12]. Van Tan Vu, Olivier Sename, Luc Dugard, Peter Gaspar, 2017. *Enhancing roll stability of heavy vehicle by LQR active anti-roll bar control using electronic servo-valve hydraulic actuators*. Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility / ISSN 0042-3114, E-ISSN 1744-5159. Volume 55, Issue 9, pp 1405-1429.

AUTHORS INFORMATION

Le Huu Chuc¹, Vu Van Tan², Truong Manh Hung², Olivier Sename³

¹Faculty of Automobile Technology, Hanoi University of Industry

²Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications

³Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP (Institute of Engineering), GIPSA-lab, Grenoble, 38000, France