

NGHIÊN CỨU THIẾT LẬP PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN LÀN Ô TÔ SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ

RESEARCH ON ESTABLISHING A METHOD OF CONTROLLING CAR LANE CHANGE USING FUZZY LOGIC CONTROLLER

Nguyễn Trọng Hoan

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Để thiết lập hệ thống điều khiển cho ô tô tự lái cần giải quyết rất nhiều vấn đề, trong đó điều khiển chuyển làn là một trong những bước đi đầu tiên. Mặc dù vậy, cho tới nay mới chỉ có một số ít ô tô được trang bị tính năng tự động chuyển làn. Hơn thế nữa, tính năng này cũng chỉ phát huy hiệu quả trong điều kiện đường thông thoáng, mật độ xe không cao và vận tốc tương đối ổn định. Bởi vậy, việc nghiên cứu quá trình điều khiển chuyển làn ô tô vẫn đang tiếp tục nhằm nâng cao tính an toàn và khả năng vận hành trong điều kiện phức tạp hơn. Bài báo trình bày một phương pháp điều khiển chuyển làn của ô tô con trên đường cao tốc, được xây dựng dựa trên mô hình động lực học một vết và bộ điều khiển lô gic mờ.

Từ khóa: Ô tô tự lái; Điều khiển chuyển làn; Mô hình động lực học một vết; Bộ điều khiển lô gic mờ.

ABSTRACT

To set up a control system for self-driving cars, it is necessary to solve many problems, in which lane change control is one of the first steps. However, at present, only a few cars are equipped with the automatic lane change feature. Moreover, this feature is only effective in clear road conditions, the vehicle density is not high and the speed is relatively stable. Therefore, the research on the car lane change control process is continuing to improve safety and performance in more complex conditions. This paper presents a method of controlling the lane change of passenger cars on the expressway, which is built based on a single-track dynamics model and a fuzzy logic controller.

Keywords: Self-driving car; Lane change control; Single track kinematic model; Fuzzy logic controller. 

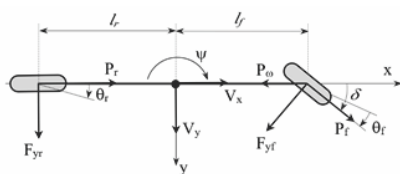
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ô tô tự lái sở hữu một hệ thống điều khiển rất phức tạp với lượng thông tin khổng lồ cần xử lý trong thời gian rất ngắn. Vì vậy, những tiêu chí hàng đầu thường đặt ra với các bộ điều khiển của nó là phải có cấu trúc tối giản và thời gian xử lý tối thiểu. Chẳng hạn, để điều khiển chuyển làn, bộ điều khiển cần xử lý các thông tin về vận tốc của xe, vị trí làn đường, khoảng cách với các xe xung quanh, biển báo giao thông,... trong thời gian ngắn nhất có thể. Hiện nay đã có một số ô tô được trang bị hệ thống tự động chuyển làn và phát huy tác dụng tốt trên đường cao tốc. Tuy nhiên, khi chuyển động trong thành phố với mật độ giao thông cao thì tính năng này gần như không còn phát huy được hiệu quả. Vì những lý do trên, các hệ thống điều khiển chuyển làn vẫn đang cần được tiếp tục nghiên cứu, hoàn thiện để có thể giúp cho ô tô tự lái trong những điều kiện phức tạp hơn hướng tới có thể thay thế hoàn toàn người lái.

Với quan điểm xây dựng một hệ thống điều khiển đơn giản và hiệu quả, tác giả bài báo đã nghiên cứu và đề xuất một phương pháp điều khiển chuyển làn ô tô trên đường cao tốc dựa trên mô hình động lực học một vết và bộ điều khiển lô gic mờ.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC MỘT VẾT

Phương pháp xây dựng mô hình động lực học đã được trình bày trong bài báo [1] với sơ đồ tính toán như trên hình 1.



Hình 1. Mô hình động lực học một vết ô tô con

Hệ phương trình mô tả chuyển động của ô tô được viết như sau:

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{I_z} (l_f F_{yf} \cos \delta - l_f P_f \sin \delta - l_r F_{yr}) \quad (1)$$

$$\ddot{y} = \frac{1}{m} (F_{yf} \cos \delta - P_f \sin \delta + F_{yr}) - V_x \dot{\psi} \quad (2)$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} (-F_{yf} \sin \delta + P_f \cos \delta - P_\omega + P_r) - V_y \dot{\psi} \quad (3)$$

$$P_\omega = \frac{1}{2} A_\omega C_x \rho V^2 \quad (4)$$

$$F_{yf} = C_f (\delta_f - \theta_f) \quad (5)$$

$$F_{yr} = C_r (-\theta_r) \quad (6)$$

$$\tan \theta_f = \frac{V_y + l_f \dot{\psi}}{V_x} \quad (7)$$

$$\tan \theta_r = \frac{V_y - l_r \dot{\psi}}{V_x} \quad (8)$$

$$\dot{X} = V_x \cos \psi - V_y \sin \psi \quad (9)$$

$$\dot{Y} = V_x \sin \psi + V_y \cos \psi \quad (10)$$

Trong đó:

$P_f = -fG_1 - P_\omega$; $P_r = P_k - fG_2$ - Cầu sau chủ động;

$P_f = P_k - fG_1$; $P_r = -fG_2$ - Cầu trước chủ động;

X, Y - Tọa độ trọng tâm ô tô theo hệ tọa độ cố định; θ_f, θ_r - Góc lệch bánh xe cầu trước và sau; f là hệ số cản lăn; G_1, G_2 - Trọng lượng phân bố lên các cầu trước và sau; P_f là lực cản lăn; P_k là lực kéo; P_ω - Lực cản không

khí; A_ω - Diện tích cản chính diện; C_x - Hệ số cản không khí; ρ - Mật độ không khí ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$); V - Vận tốc chuyển động của ô tô.

Để mô phỏng quá trình chuyển làn của ô tô, có thể sử dụng các quy luật lái khác nhau. Ở đây, quy luật được lựa chọn là sin:

$$\delta = \delta_m \sin \omega t \quad (11)$$

Vì vậy, các thông số điều khiển cần xác định là biên độ δ_m và tần số góc ω .

Các số liệu tính toán cho mô hình động lực học được lấy theo [1].

3. CÁC TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ

Với giả thiết, quá trình chuyển làn xảy ra trên đường cao tốc và không bị vướng bởi các xe lân cận, trừ xe phía trước cùng làn, chất lượng của quá trình được đánh giá qua 3 tiêu chí sau: quỹ đạo, an toàn và êm dịu.

Việc đảm bảo quỹ đạo chuyển động đã được trình bày trong [1]. Trong đó, độ chính xác của quỹ đạo được đánh giá thông qua độ lệch của trọng tâm so với tim đường khi ô tô kết thúc quá trình chuyển làn.

Trong điều kiện khảo sát nêu trên, tiêu chí an toàn được đánh giá thông qua khoảng cách tới xe phía trước S_t . Khoảng cách này được lựa chọn dựa trên khoảng cách an toàn theo Thông tư 31/2019, Bộ Giao thông Vận tải (bảng 1).

Bảng 1. Khoảng cách an toàn

V (km/h)	S_{at} (m)
$60 < V \leq 80$	55
$80 < V \leq 100$	70
$100 < V \leq 120$	100

Trong thiết lập quỹ đạo chuyển làn, khoảng cách an toàn được sử dụng để đánh giá khả năng va chạm với xe phía trước. Trong trường hợp xấu nhất, ô tô phía trước đang chuyển động với vận tốc V_{j0} phanh đột ngột. Quãng đường phanh nhỏ nhất của ô tô này có thể được tính từ phương trình chuyển động của nó. Giả sử, ô tô phía trước có các thông số tương tự như ô tô chuyển làn. Khi đó, phương trình chuyển động của ô tô này được viết như sau:

$$m\ddot{X}_t = P_p + P_f + P_\omega$$

Trong đó: X_t là vị trí của trọng tâm của ô tô phía trước theo phương X, P_p là lực phanh. Giả thiết rằng, quãng đường phanh ngắn nhất đạt được khi lực phanh đạt tới giới hạn bám, gia tốc theo phương X của xe phía trước được tính như sau:

$$\ddot{X}_t = \frac{1}{m} \left(\phi mg + fmg + \frac{2}{2} A_\omega C_x \rho \dot{X}_t^2 \right) \quad (12)$$

Giải phương trình trên với vận tốc ban đầu cho trước $V_{t0} = \dot{X}_t(0)$ và vận tốc cuối bằng 0, ta xác định được quãng đường phanh tối thiểu S_{tmin} . Nghĩa là, từ khi phanh, ô tô sẽ chạy thêm được quãng đường S_{pmin} . Đây chính là khoảng dự trữ an toàn trong khi chuyển làn, nếu xe trước dừng đột ngột. Để đảm bảo an toàn, quãng đường xe đi được trong quá trình chuyển làn X_{max} cần thỏa mãn điều kiện:

$$X_{max} \leq S_t + S_{pmin}$$

Độ êm dịu được đánh giá thông qua gia tốc ngang tại trọng tâm của ô tô a_y . Gia tốc này càng thấp thì độ êm dịu càng cao, nghĩa là người ngồi trên xe ít cảm giác khó chịu khi chuyển làn. Theo các nghiên cứu đã công bố [2], để người ngồi trên xe hoàn toàn thoải mái, gia tốc ngang không được vượt quá $1,8 \text{ m/s}^2$. Tuy nhiên, mức trung bình có thể chấp nhận là $3,6$ và ngưỡng giới hạn là 5 m/s^2 .

4. XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ ĐIỀU KHIỂN BẰNG LÔ GIC MỜ

Với quy luật lái dạng sin như đã chọn trên đây (11), trong quá trình chuyển làn, các thông số điều khiển (ω và δ_m) phụ thuộc vào điều kiện chuyển động gồm nhiều yếu tố tác động khách quan. Do phạm vi nghiên cứu được giới hạn là chuyển làn ô tô con trên đường cao tốc, nên các thông số đặc trưng cho điều kiện chuyển động được chọn là vận tốc V (km/h) và khoảng cách tới xe phía trước S_i (m). Các kết quả nghiên cứu trước đây đã cho thấy, quy luật phụ thuộc của các thông số điều khiển chuyển làn và điều kiện chuyển động rất phức tạp [1]. Vì vậy, trong nghiên cứu này, tác giả đã lựa chọn lô gic mờ để xác định các thông số điều khiển trong điều kiện chuyển động cụ thể.

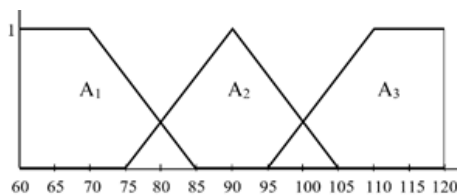
Gọi x là vận tốc, y là khoảng cách tới xe trước và z là tần số góc điều khiển. Trong đó, x và y là các biến đầu vào, còn z là biến đầu ra. Mỗi biến được mô tả bởi 3 tập mờ, cụ thể như sau:

Vận tốc: A_1 = thấp; A_2 = trung bình; A_3 = cao.

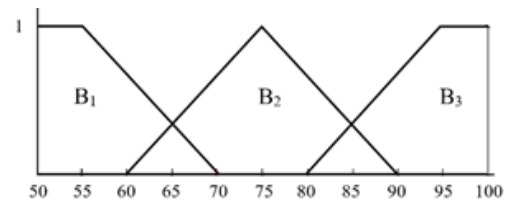
Khoảng cách tới xe trước: B_1 = gần; B_2 = vừa phải; B_3 = xa.

Tần số góc: C_1 = thấp; C_2 = trung bình; C_3 = cao.

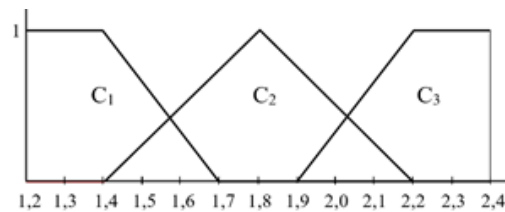
Mờ hóa các biến và các luật mờ được mô tả như trên các hình 2 - 5.



Hình 2. Biến đầu vào: vận tốc V (km/h)



Hình 3. Biến đầu vào: khoảng cách S_{at} (m)



Hình 4. Biến đầu ra: tần số góc ω (rad/s)

Luật mờ:

1. Nếu x là A_1 hoặc y là B_3 thì z là C_1
2. Nếu x là A_2 và y là B_2 thì z là C_2
3. Nếu x là A_3 hoặc y là B_1 thì z là C_3

Hình 5. Mờ hóa và các luật mờ

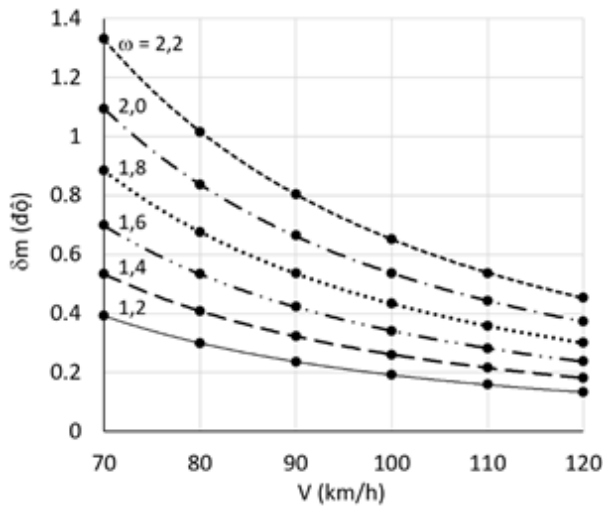
Khi mô phỏng chuyển làn với vận tốc là V và khoảng cách tới xe phía trước là S_i , bộ điều khiển mờ sẽ xuất ra giá trị tần số điều khiển ω .

Các kết quả tính toán đã cho thấy, mối quan hệ giữa tần số điều khiển ω và biên độ δ_m với vận tốc V có quy luật như mô tả bằng đồ thị trên hình 6. Từ các kết quả này, có thể rút ra quy luật quan hệ giữa chúng dưới dạng:

$$\delta_m = \frac{A}{V^a} \omega^b$$

Trong đó: a , b là các hệ số; V là vận tốc tính theo km/h; ω là tần số góc (lấy từ bộ điều khiển mờ).

Như vậy, với các điều kiện cụ thể là vận tốc và khoảng cách tới xe trước, bằng phương pháp tính toán mô tả trên đây, ta có thể thiết lập quỹ đạo chuyển động chuyển làn của ô tô.



Hình 6. Mối quan hệ giữa các thông số điều khiển (δ_m , ω) với vận tốc ô tô

5. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

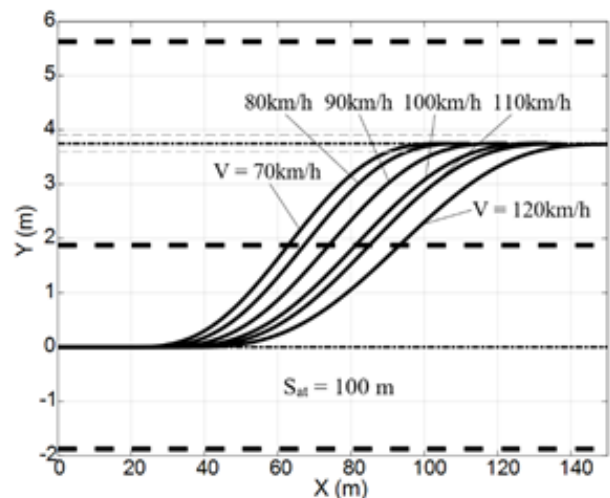
Kết quả tính toán mô phỏng cho thấy, với hai thông số đầu vào là vận tốc và khoảng cách tới xe trước, quỹ đạo chuyển làn của ô tô được thiết lập đáp ứng các yêu cầu về độ chính xác, an toàn và êm dịu.

Với khoảng cách $S_t = 100$ m và vận tốc biến thiên từ 70 đến 120 km/h, các quỹ đạo trọng tâm ô tô tương ứng được thể hiện trên hình 7. Có thể thấy rằng, trong tất cả các trường hợp khảo sát, quá trình chuyển làn kết thúc khi trọng tâm ô tô nằm trên tim của làn đường với sai lệch không đáng kể. Điều này được thể hiện rõ trong bảng 2. Trong đó, $X_{\max}$ và $Y_{\max}$ là tọa độ trọng tâm ở thời điểm kết thúc quá trình chuyển làn. Có thể thấy rằng, sai lệch lớn nhất được ghi nhận ở vận tốc 120 km/h là 16 mm.

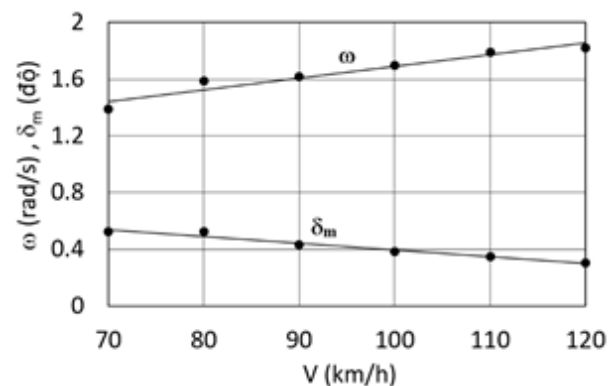
Các đồ thị trên hình 8 cho thấy sự biến thiên của các thông số điều khiển ω và δ_m theo vận tốc chuyển động. Các thông số này được tính toán từ vận tốc và khoảng cách an toàn bằng lô gic mờ như đã trình bày trong mục 4.

Bảng 2. Tọa độ trọng tâm ô tô khi kết thúc chuyển làn ($S_{at} = 100$ m)

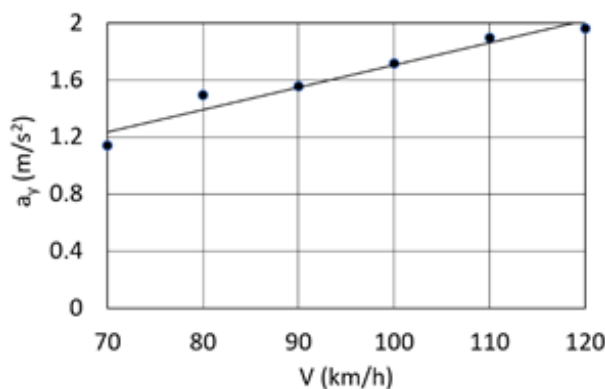
V (km/h)	$X_{\max}$ (m)	$Y_{\max}$ (m)
70	87.6747	3.749
80	87.9139	3.744
90	97.1104	3.750
100	102.8453	3.749
110	107.5232	3.744
120	115.2131	3.734



Hình 7. Quỹ đạo trọng tâm ô tô ở các vận tốc từ 70 - 120 km/h



Hình 8. Biến thiên các thông số điều khiển theo vận tốc ($S_t = 100$ m)



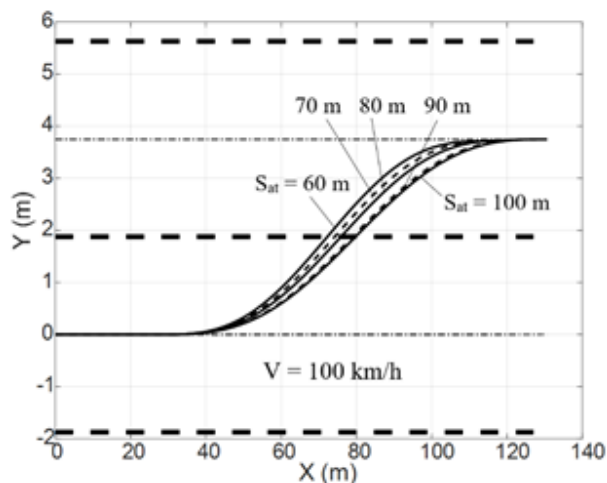
Hình 9. Biến thiên gia tốc ngang theo vận tốc ($S_t = 100$ m)

Do khoảng cách tới xe trước đủ lớn (khoảng cách $S_t = 100$ m), nên trong mọi trường hợp, ô tô chuyển làn với độ êm dịu khá cao. Trên hình 9 thể hiện giá trị gia tốc ngang cực đại đạt được khi chuyển làn không vượt quá 2 m/s^2 .

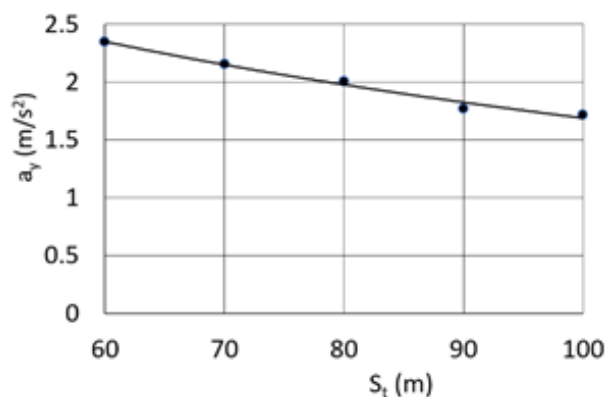
Các tính toán khảo sát cũng được thực hiện cho các trường hợp chuyển làn khi khoảng cách tới xe trước thay đổi. Trên hình 10 thể hiện quỹ đạo trọng tâm ô tô với vận tốc 100 km/h và khoảng cách an toàn thay đổi từ $60 - 100$ m. Có thể nhận thấy rằng, trong tất cả các trường hợp, bộ điều khiển mờ đã xác định được các thông số điều khiển để thiết lập quỹ đạo chuyển động đáp ứng các yêu cầu đã đặt ra.

Hình 11 thể hiện mối quan hệ giữa gia tốc ngang với khoảng cách tới xe trước S_t . Kết quả cho thấy, khi chuyển làn ở 100 km/h với S_t biến thiên từ $60 - 100$ m, quỹ đạo chuyển động vẫn được thiết lập đáp ứng các yêu cầu đã đặt ra. Tuy nhiên, nếu khoảng cách S_t nhỏ hơn 80 m thì độ êm dịu giảm (gia tốc ngang lớn hơn 2 m/s^2). Trong các trường hợp này, nếu xe trước vẫn chuyển động với vận tốc không đổi 60 km/h như đã giả thiết, thì hoàn toàn không có nguy cơ va chạm. Tuy nhiên, nếu xe trước phanh gấp thì quãng đường chuyển làn có thể

lớn hơn khoảng cách an toàn ($X_{\max} > S_{at} + S_{tmin}$). Đây là điều cần lưu ý khi thiết lập quỹ đạo chuyển làn cho ô tô tự lái.



Hình 10. Quỹ đạo trọng tâm ô tô ở vận tốc 100 km/h và S_t từ $60 - 100$ m



Hình 11. Gia tốc ngang ở vận tốc 100 km/h và S_t từ $60 - 100$ m

6. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày một phương pháp điều khiển quỹ đạo chuyển làn cho ô tô trên đường cao tốc sử dụng lô gic mờ. Các kết quả tính toán mô phỏng với mô hình động lực học một vết đã cho thấy, quỹ đạo chuyển làn của ô tô được thiết lập đáp ứng các yêu cầu về độ chính xác, đảm bảo an toàn và êm dịu. Đây là một phương pháp đơn giản, hiệu quả và đặc biệt là

có thời gian xử lý rất ngắn, nên phù hợp với hệ thống điều khiển của ô tô tự lái. Nếu được tiếp tục nghiên cứu phát triển, phương pháp này có thể được sử dụng cho các tình huống phức tạp hơn. ❖

Ngày nhận bài: **12/4/2022**

Ngày phản biện: **28/4/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Trọng Hoan; *Xác định các thông số điều khiển chuyển làn ô tô con trên đường cao tốc*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 8/2020.
- [2]. W. J. Cheng; *Study on the evaluation method of highway alignment comfortableness*. M.S. thesis, Hebei University of Technology, Tianjin, China, 2007.
- [3]. Jason Kong, Mark Pfeiffer, Georg Schildbach, Francesco Borrelli; *Kinematic and Dynamic Vehicle Models for Autonomous Driving Control Design*. Work supported by the National Science Foundation under Grant No. 1239323 and by the Hyundai center of Excellence at UC Berkeley.
- [4]. Martin Mondek and Martin Hromčík; *Linear analysis of lateral vehicle dynamics*. 21st International Conference on Process Control (PC) June 6–9, 2017, Štrbské Pleso, Slovakia.
- [5]. Z. Papić, G. Zovak, V. Bogdanović, N. Saulić; *Empirical Approach for Determining Lane Change Distance at Obstacle Avoidance Manoeuvre*. Safety and Security in Traffic Preliminary Communication, 12, 2016.

