



بررسی تغییرات پارامترها بر فرمان پذیری خودرو

محمد امین سعیدی^{1*}، عرفان قرابت²

¹ استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی، تهران، amin_saeedi@sru.ac.ir
² دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی، تهران، erfan.gt1999@gmail.com

چکیده

در این مقاله تاثیر مهم ترین پارامترهای موثر بر فرمان پذیری خودرو در مانور استاندارد مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا یک مدل دینامیکی دو درجه آزادی برای شبیه سازی دینامیک جانبی خودرو توسعه داده شد. درجات آزادی مدل ارایه شده، سرعت زاویه ای چرخشی و سرعت جانبی هستند. سپس تاثیر سرعت طولی بر فرمان پذیری با در نظر گرفتن شرایط یکسان برای دو خودرو مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی برای مهم ترین پاسخهای دینامیکی خودرو شامل سرعت زاویه ای چرخشی، شتاب جانبی و مسیر حرکت خودرو نشان داده شده است.

واژه های کلیدی

مدل دینامیکی، سرعت زاویه ای چرخشی، شتاب جانبی، مسیر حرکت خودرو

The Investigation of the Parameters Variations on Vehicle's Handling

Mohammad Amin Saeedi^{1*}, Erfan gharabat²

1- Assistant Professor, Mechanical Engineering, Tarbiat Dabir Shahid Rajaei University, Tehran.
2 - Master student, mechanical engineering, Tarbiat Dabir Shahid Rajaei University, Tehran
* amin_saeedi@sru.ac.ir

Abstract

In this paper, the effect of the most important parameters on handling of the vehicle has been investigated. First, a two-degrees-of-freedom dynamic model to describe the lateral dynamics of the vehicle was developed. The degrees of freedom of the presented model are yaw rate and lateral velocity. Then, the effect of the longitudinal velocity by considering the same conditions for two vehicles has been evaluated. The simulation results have been demonstrated for the most important dynamic responses of the vehicle such as the yaw rate, the lateral acceleration and the vehicle trajectory

Keywords

Dynamic model, Yaw rate, Lateral acceleration, Vehicle trajectory

راننده باشند. لذا در ابتدا به منظور مدلسازی رفتار دینامیکی

خودرو، لازم است یک مدل دینامیکی کامل از خودرو توسعه

داده شود. سپس مدل دینامیکی ارایه شده با استفاده از نتایج

تست‌های واقعی و یا بکارگیری نرم افزارهای مربوطه صحت-

گذاری گردد [۱-۶]

مدل دینامیکی

در این قسمت برای بررسی فرمان‌پذیری خودرو از یک مدل دو درجه

آزادی بصورت زیر استفاده می شود. درجات آزادی مدل دینامیکی

شامل سرعت زاویه ای چرخشی و سرعت جانبی هستند. شکل(۱)

تصویر این مدل را نشان می دهد و در ادامه نیز مشخصات خودرو،

ورودی های مورد نظر و خروجی های خواسته شده در این مسئله،

ارائه گردیده است.

مقدمه

یکی از مسایل مهم در خودروسازی، موضوع افزایش ایمنی خودروها

در شرایط بحرانی رانندگی با افزایش سرعت، کاهش ضریب

اصطکاک کم و ... است. در این شرایط تاثیر از ناحیه ی خطی

خارج شده و رفتار غیرخطی از خود به نمایش می‌گذارد. در

چنین شرایطی رفتار خودرو ناپایدار شده و در این حالت

رانندگان حرفه‌ای قادر به کنترل آن هستند. امروزه کارخانه‌های

خودروسازی برای افزایش فرمان‌پذیری و مانورپذیری خودروها، از

سیستم‌های فعال مانند سیستم ترمز فعال، فرمان فعال و ...

استفاده می‌نمایند. سیستم‌های فوق، با تنظیم نمودن متغیرهای

حرکتی خودرو بر اساس مقادیر مطلوب، عملکرد هندلینگ و

پایداری خودرو را در مانورهای بحرانی بهبود می‌بخشند. هدف

این پروژه توسعه یک سیستم کنترلی فعال برای بهبود پایداری

دینامیکی تحت مانورهای بحرانی است. سیستم کنترلی این

امکان را فراهم می‌آورد که حرکات خودرو تحت عمل فرمان‌دهی

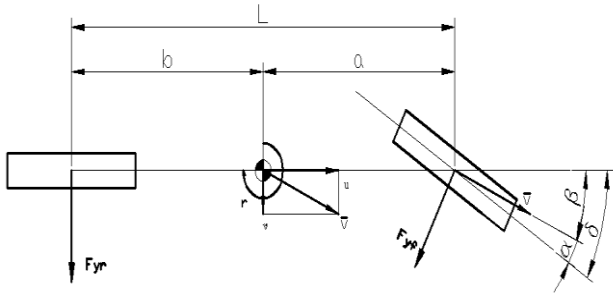


Fig. 1 two-degrees-of-freedom dynamic model of vehicle

شکل ۱ مدل دو درجه آزادی خودرو

مشخصات خودرو:

$$\begin{aligned} m &= 1000 \text{ kg} \\ I_z &= 2000 \text{ kg.m}^2 \\ C_{\alpha f} &= 20,000 \text{ N/rad} \end{aligned}$$

$$C_{\alpha r} = 20,000 \text{ N/rad}$$

$$L = 2.5 \text{ m}$$

$$a = \begin{cases} 1 & \text{m} & \text{: خودرو A} \\ 1.5 & \text{m} & \text{: خودرو B} \end{cases}$$

ورودی مورد نظر:

$$\delta = 0.02 \quad , \quad u = 5 \text{ m/s}$$

خروجی های سیستم

مقایسه خودرو های A و B در نمودارهای سرعت زاویه ای چرخشی، شتاب جانبی، تغییر مکان، تغییرات موقعیت جانبی بر حسب زمان برای ورودی. برای حل مسئله، ابتدا معادلات حرکت سیستم و روابط مورد نیاز را بدست می آوریم و سپس با استفاده از معادلات حالت، مدل سیستم را در نرم افزار Matlab-Simulink ایجاد می نمایم. در مرحله بعد با اعمال ورودیهای مورد نظر به سیستم، خروجی های خواسته شده را بدست آورده و تحلیل می نمایم.

معادلات حرکت و روابط حاکم بر سیستم

$$\begin{cases} \sum F_y = ma_y \\ \sum M_z = I_z \dot{r} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_{yf} + F_{yr} = ma_y \\ F_{yf}a - F_{yr}b = I_z \dot{r} \end{cases} \quad (1)$$

$$\vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} = (\dot{u} - vr) \hat{i} + (\dot{v} + ur) \hat{j} \quad (2)$$

$$\begin{cases} F_{yf} = C_{\alpha f} \alpha_f = C_{\alpha f} (\delta - B_f) \\ F_{yr} = C_{\alpha r} \alpha_r = C_{\alpha r} (0 - B_r) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \tan B_f = \frac{v + ar}{u} \approx B_f \\ \tan B_r = \frac{v - br}{u} \approx B_r \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} C_{\alpha f} \left(\delta - \frac{v + ar}{u} \right) + C_{\alpha r} \left(\frac{br - v}{u} \right) = m(\dot{v} + ur) \\ C_{\alpha f} \left(\delta - \frac{v + ar}{u} \right) a - C_{\alpha r} \left(\frac{br - v}{u} \right) b = I_z \dot{r} \end{cases} \quad (5)$$

و پس از مرتب سازی روابط فوق داریم:

$$\begin{cases} m\dot{v} + \left(\frac{C_{\alpha f} + C_{\alpha r}}{u} \right) v + \left(\frac{aC_{\alpha f} - bC_{\alpha r}}{u} + mu \right) r = C_{\alpha f} \delta \\ I_z \dot{r} + \left(\frac{aC_{\alpha f} - bC_{\alpha r}}{u} \right) v + \left(\frac{a^2 C_{\alpha f} + b^2 C_{\alpha r}}{u} \right) r = aC_{\alpha f} \delta \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{C_{\alpha f} + C_{\alpha r}}{u} & \frac{aC_{\alpha f} - bC_{\alpha r}}{u} + mu \\ \frac{aC_{\alpha f} - bC_{\alpha r}}{u} & \frac{a^2 C_{\alpha f} + b^2 C_{\alpha r}}{u} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{\alpha f} \\ aC_{\alpha f} \end{bmatrix} \delta \quad (7)$$

تعیین موقعیت مکانی خودرو

برای بدست آوردن روابط مربوط به تعیین موقعیت خودرو، با استفاده از شکل (۳) می توان نوشت:

$$\begin{cases} X = \int_0^t U dt \\ Y = \int_0^t V dt \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} U = u \cos \psi - v \sin \psi \\ V = u \sin \psi + v \cos \psi \end{cases} \quad (9)$$

$$(Yaw \text{ Angle}) \psi = \int_0^t r dt \quad (10)$$

$$\begin{cases} X = \int_0^t (u \cos \psi - v \sin \psi) dt \\ Y = \int_0^t (u \sin \psi + v \cos \psi) dt \end{cases} \quad (11)$$

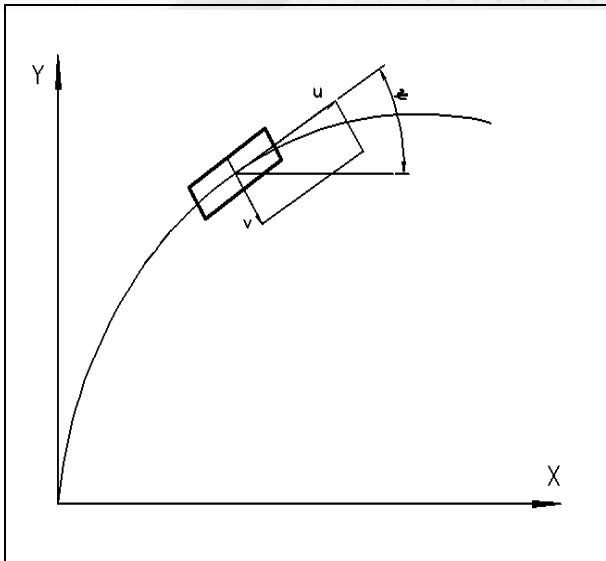


Fig. 2 vehicle position diagram

شکل (۲) نمودار موقعیت خودرو

نسبت سرعت زاویه ای چرخشی به ورودی فرمان و نسبت شتاب جانبی به ورودی فرمان به شدت افزایش می یابد. (حالت الف)

$$\delta = 0.02(\text{rad}), \quad u = 5 \text{ m/s}$$

خروجی های حاصل از این شرایط در شکل های (۳) تا (۷) نشان داده شده است.

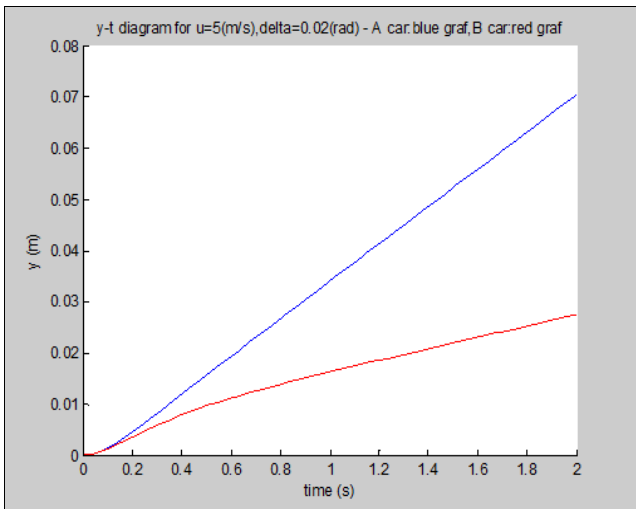


Fig. 3 comparison of changes in position y with respect to time, for cars A (blue curve) and B (red curve)

شکل (۳) مقایسه تغییرات موقعیت y نسبت به زمان، برای خودرو های A (منحنی- آبی) و B (منحنی قرمز)

برای مدل کردن معادلات حرکت سیستم در نرم افزار مذکور از معادلات حالت استفاده می نمایم:

$$\begin{cases} x_1 = v \\ x_2 = r \\ \dot{x}_1 = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} -\left(\frac{C_{\alpha f} + C_{\alpha r}}{u}\right)x_1 \\ -\left(\frac{aC_{\alpha f} - (l-a)C_{\alpha r}}{u} + mu\right)x_2 + C_{\alpha f}\delta \end{bmatrix} \\ \dot{x}_2 = \frac{1}{I_z} \begin{bmatrix} -\left(\frac{aC_{\alpha f} - (l-a)C_{\alpha r}}{u}\right)x_1 \\ -\left(\frac{a^2C_{\alpha f} + (l-a^2)C_{\alpha r}}{u}\right)x_2 + aC_{\alpha f}\delta \end{bmatrix} \end{cases} \quad (12)$$

حال با استفاده از روابط و قوانین حاکم بر نرم افزار می توان مدل این سیستم را ایجاد نموده و پس از اعمال ورودی های مورد نظر، خروجی های خواسته شده را دریافت نمود. شکل (۴) تصویرمدل ایجاد شده در نرم افزار Matlab-Simulink که شامل ورودی و خروجی نیز می باشد، نشان می دهد.

نتایج شبیه سازی:

با توجه به اینکه برای خودرو های A و B داریم:

$$K_{us} = \frac{-m(aC_{\alpha f} - bC_{\alpha r})}{LC_{\alpha f}C_{\alpha r}} \quad (13)$$

برای خودرو A:

$$K_{us}|_A = 0.01 \left(\frac{\text{rad}}{\text{Acc.}}\right) = 5.62 \left(\frac{\text{deg}}{g}\right) > 0 \quad (14)$$

و برای خودرو B:

$$K_{us}|_B = -0.01 \left(\frac{\text{rad}}{\text{Acc.}}\right) = -5.62 \left(\frac{\text{deg}}{g}\right) < 0 \quad (15)$$

$$u_{cr} = \sqrt{-\frac{L}{K_{us}}} = \sqrt{-\frac{2.5}{-0.01}} = 15.81 \text{ m/s} \quad (16)$$

انتظار داریم خودرو A کم فرمان و همواره پایدار باشد و خودرو B نیز بیش فرمان بوده و در صورتی که سرعت خودرو کم تر از u_{cr} باشد، پایدار و در غیر این صورت ناپایدار باشد. همانطور که ملاحظه می شود نمودارهای حاصل نیز همین نتایج را نشان می دهد. بطوریکه با نزدیک شدن سرعت خودرو B (منحنی قرمز رنگ) به سرعت بحرانی،

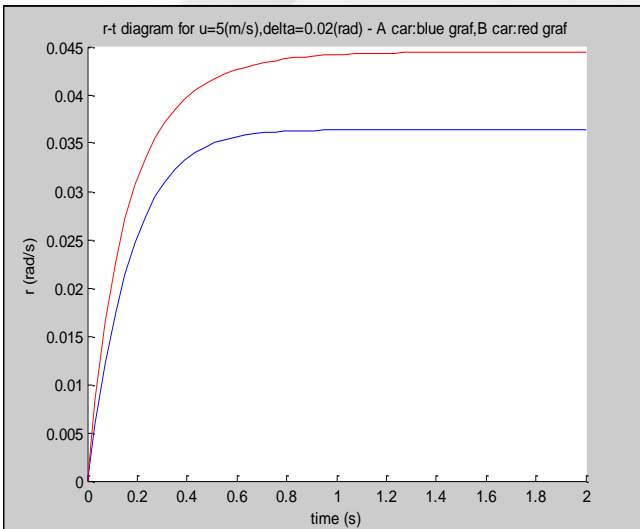


Fig. 6 comparison of changes in rotational angular velocity with respect to time, for cars A (blue curve) and B (red curve)

شکل (۶) مقایسه تغییرات سرعت زاویه ای چرخشی نسبت به زمان، برای خودرو های A (منحنی آبی) و B (منحنی قرمز)

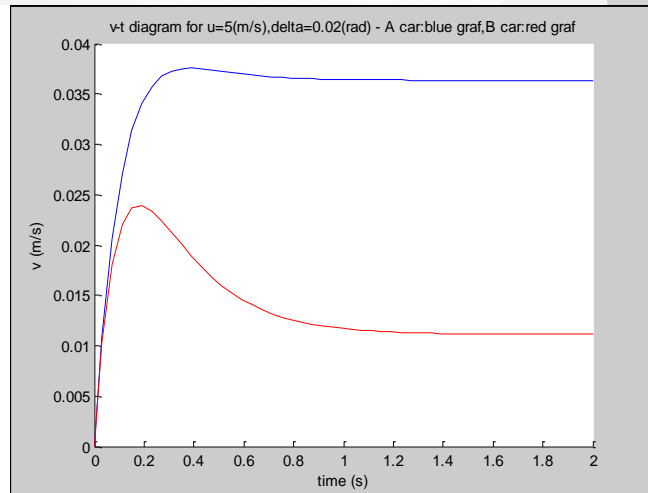


Fig. 4 comparison of lateral speed changes with respect to time, for cars A (blue curve) and B (red curve)

شکل (۴) مقایسه تغییرات سرعت جانبی نسبت به زمان، برای خودرو های A (منحنی آبی) و B (منحنی قرمز)

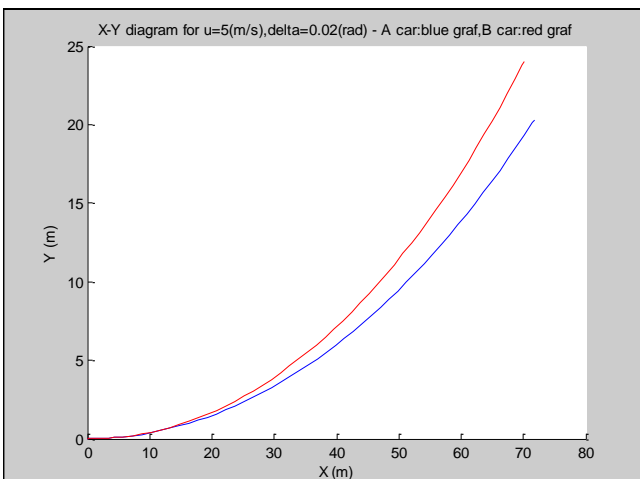


Fig. 7 comparison of location changes with respect to time, for cars A (blue curve) and B (red curve)

شکل (۷) مقایسه تغییرات مکان خودرو های A (منحنی آبی) و B (منحنی قرمز)

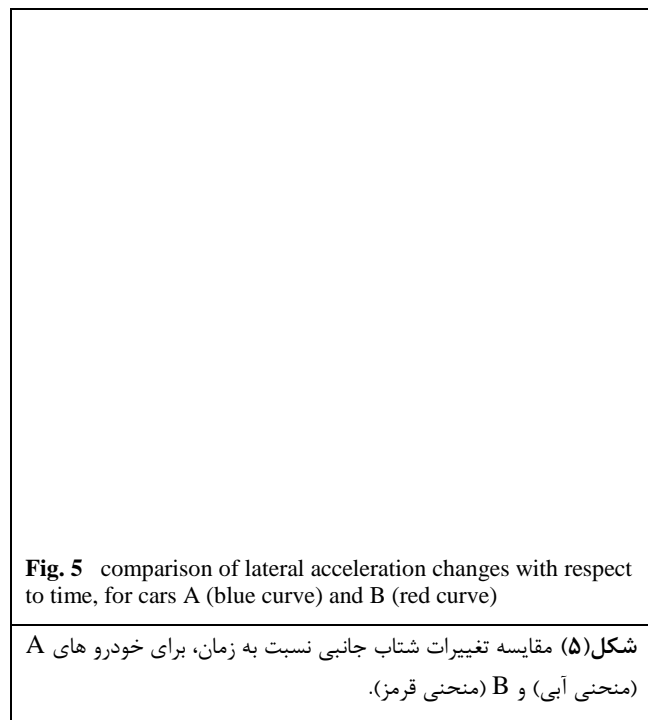


Fig. 5 comparison of lateral acceleration changes with respect to time, for cars A (blue curve) and B (red curve)

شکل (۵) مقایسه تغییرات شتاب جانبی نسبت به زمان، برای خودرو های A (منحنی آبی) و B (منحنی قرمز).



مراجع

- [1] Fridman, L., Shtessel, Y., Edwards, C. and Yan, X.G. "Higherorder Sliding-Mode Observer for State Estimation and Input Reconstruction in Nonlinear Systems", *Int. J. Robust Nonlinear Control*, Vol. 18, pp. 399–412, 2008.
- [2] Ding, N. and Taheri, S. "An Adaptive Integrated Algorithm For Active Front Steering and Direct Yaw Moment Control Based on Direct Lyapunov Method", *Vehicle System Dynamics*, Vol. 48, No. 10, pp. 1193–1213, 2010.
- [3] Saeedi, M.A., Kazemi, R. and Azadi, S. "Improvement in The Rollover Stability of a Liquid-Carrying Articulated Vehicle Via A New Robust Controller", *Proc IMechE, Part D: Journal of Automobile Engineering*, (2016), doi:10.1177/0954407016639204.
- [4] Ozatay, E., Uniusoy, S.Y. and Yildirim, A.M. "Enhancement of Vehicle Handling Using Four Wheel Steering Control Strategy", *SAE paper*, 2006.
- [5] Saeedi, M.A., Kazemi, R. and Azadi, S. "A New Robust Controller to improve the Lateral Dynamic of an Articulated Vehicle Carrying Liquid", *Proc. IMechE, Part K: Journal of Multibody Dynamics*, doi:10.1177/1464419316663028.
- [6] Kim, S. J., Kwak, B. H., Chung, S. J. and Kim, J. G. "Development of an Active Front Steering System", *Int. J. Automotive Technology*, Vol. 7, No. 3, 315-320, (2006).