

کد نشست: RP12	عنوان نشست: Fuzzy Control Application
رئیس نشست: دکتر منهایج	
زمان ارائه: ۱۶:۴۰	زمان نشست: ۱۶:۴۰ الی ۱۸:۴۰

ارائه یک سیستم اتوماتیک فازی برای کنترل پایداری دینامیکی اتومبیل بر اساس رفتار راننده

سید علیرضا بهاری زاده، محمود فتحی، بهزاد زمانی دهکردی
دانشکده کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت

چکیده:

در این مقاله به بررسی عملکرد طراحی تحلیل کننده های فازی که در داخل خودرو جاسازی شده اند پرداخته می شود. این تحلیل کننده ها برای تعیین شرایط بحرانی هنگام رانندگی، از تعدادی سنسور استفاده می کنند. این سیستم به راننده کمک می کند، از وجود موانع و سایر وسایل نقلیه در خیابان و اغتشاشات محیطی آگاه شود. هنگامی که حواس راننده پرت می شود، با دادن اخطار باعث حواس جمعی وی می شود. یک کنترل کننده فازی، به کمک یک کنترل کننده الکترونیکی، سیستمهای ترمز / رانندگی / سیستم تعلیق وسیله نقلیه را برای جلوگیری از برخورد به موانع کنترل می کند. در عین حال تعادل حرکتی وسیله را به کمک تحلیل پایداری دینامیکی اتومبیل حفظ می کند. مزیت این کنترل کننده این است که با تصمیم گیری راننده در شرایط عادی تلاقی نمی کند و تنها در مواقع بحرانی وارد عمل می شود. در این مقاله با استفاده از کمک سنسورها و تحریکهای متعدد روشی نوین برای تعیین بحرانهای پایداری و رانندگی ارائه می شود.

ارائه یک سیستم اتوماتیک فازی برای کنترل پایداری دینامیکی اتومبیل بر اساس رفتار راننده

سید علیرضا بهاری زاده^۱، محمود فتحی^۲، بهزاد زمانی دهکردی^۳

دانشکده کامپیوتر - دانشگاه علم و صنعت

^۱. bahari@comp.iust.ac.ir, ^۲. mahfathy@iust.ac.ir, ^۳. bzamani@iust.ac.ir

چکیده - در این مقاله به بررسی عملکرد طراحی تحلیل کننده های فازی که در داخل خودرو جاسازی شده اند پرداخته می شود. این تحلیل کننده ها برای تعیین شرایط بحرانی هنگام رانندگی، از تعدادی سنسور استفاده می کنند. این سیستم به راننده کمک می کند، از وجود موانع و سایر وسایل نقلیه در خیابان و اغتشاشات محیطی آگاه شود. هنگامی که حواس راننده پرت می شود، با دادن اخطار باعث حواس جمعی وی می شود. یک کنترل کننده فازی، به کمک یک کنترل کننده الکترونیکی، سیستمهای ترمز / رانندگی / سیستم تعلیق وسیله نقلیه را برای جلوگیری از برخورد به موانع کنترل می کند. در عین حال تعادل حرکتی وسیله را به کمک تحلیل پایداری دینامیکی اتومبیل حفظ می کند. مزیت این کنترل کننده این است که با تصمیم گیری راننده در شرایط عادی تلاقی نمی کند و تنها در مواقع بحرانی وارد عمل می شود. در این مقاله با استفاده از کمک سنسورها و تحریکهای متعدد روشی نوین برای تعیین بحرانیهای پایداری و رانندگی ارائه می شود.

۱- مقدمه

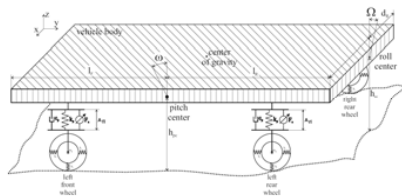
ثقل نقش کلیدی در بررسی پایداری حرکتی اتومبیل دارد [۲]. سیستمهای حرکتی شامل چند تحلیل کننده فازی است: هوشیاری راننده (DC)، صحت داده ها (DA)، پایداری دینامیکی (DS) و تحلیلگرهای فازی بحران. سنسورهای موجود در اطراف اتومبیل اطلاعات لازم برای تحلیل بحران خارجی را مهیا می کنند. شکل ۱ فرایند تحلیل بحران و سیستم پایداری دینامیکی را نشان می دهد.

از زمان پیدایش اتومبیل، تحقیقات در مورد سیستم امنیتی آن نیز آغاز شده است. مهندسين و محققين، از آنجایی که با شرایط رانندگی و رانندگان مختلف روبرو هستند، سعی در درک کامل رفتار دینامیکی وسیله های نقلیه دارند. آنها از این یافته ها برای بهبود کیفیت رانندگی، پایداری وسیله نقلیه و امنیت آن برای طراحی های جدید به منظور بهبود عملکرد وسیله نقلیه بهره می گیرند. عموماً تصادفات به علت سرعت بالا، مشکل جاده و عدم توجه راننده به وقوع می پیوندد [۱]. در این مقاله دو دسته تحلیل کننده فازی بررسی می شود، یکی برای تعیین هوشیاری راننده و خطر وسایل نقلیه مجاور در جاده و دیگری برای تشخیص وضعیت پایداری دینامیکی اتومبیل و کنترل آن. ما این دو نوع بحران را بحران داخلی و خارجی می نامیم. مشکلات دینامیکی زمانی به وجود می آیند که مرکز ثقل اتومبیل به خارج از موقعیت مطلوب آن جابجا شود. تحلیل رفتار مرکز

¹ Driver Consciousness

² Data Accuracy

³ Dynamic Stability



شکل ۲: مدل کامل SMD

مدل کامل اتومبیل در این مقاله، نیروهای وارد بر فنر را مشخص می کند که در شکل ۲ نشان داده شده است. روابط زیر برای چرخیدن و جابجایی مرکز ثقل (CG) اتومبیل ارائه شده اند [۳]:

$$\begin{aligned} (F_{A_f} + F_{A_r})l_f - (F_{A_l} + F_{A_r})l_r &= J_p \dot{\omega} \\ (F_{A_f} + F_{A_l})l_l - (F_{A_f} + F_{A_r})d_r &= J_r \dot{\Omega} \\ F_{A_f} + F_{A_l} + F_{A_{pl}} + F_{A_r} &= m_{body} \dot{v}_f \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن می توان نشان داد که رابطه زیر برقرار است:

$$m_{body} = m_{b_f} + m_{b_r} + m_{b_l} + m_{b_r} \quad (2)$$

که m_b ها وزنی است که بر هر چرخ وارد می شود. اگر از برخی عوامل غیر خطی صرف نظر کنیم، مدل حرکتی اتومبیل در جاده و اثر نا همواری ها بر آن قابل تحلیل خواهد بود. دینامیک سیستم SMD بر اساس دو ویژگی اصلی قابل بررسی است. یکی فرکانس طبیعی نامیرایی و دیگری نسبت میرایی که فرکانس طبیعی نامیرایی به صورت زیر بدست می آید [۵]:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k'}{m}} \text{ radians/sec} \quad (3)$$

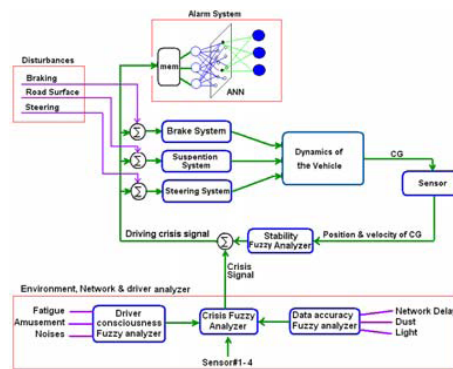
روش محاسبه مرکز ثقل در این مقاله بر پایه تغییرات ارتفاع است. بنابراین برای تعیین ارتفاع در شبیه سازی، سیستم خطی در نظر گرفته می شود.

۲-۲- ترمز کردن و تغییر جهت

اکنون نیروی دینامیکی را که مستقیماً روی بدنه اتومبیل عمل می کند، در نظر می گیریم. به عبارت دیگر تغییر بار در زمان ترمز کردن در روابط لحاظ می گردد. برای بررسی اثر دینامیکی ترمز بر اتومبیل معادلات هر چرخ را می توان طبق اصل سوپرپوزیسیون [۶] با هم جمع کرد. از آنجایی که معادلات برای تمامی چرخها یکسان است، بنابراین فقط

در این شکل بلوک دیاگرام وضعیت بحرانی نشان داده شده است.

ادامه مقاله به این صورت است که در بخش دوم به بررسی دینامیک سیستم ترمز و حرکت پرداخته می شود. در قسمت سوم ساختار تحلیلی گره های فازی بررسی می شود. در قسمت چهارم نتایج شبیه سازی آورده شده است و در انتها نیز به جمع بندی کلی می پردازیم.



شکل ۱: بلوک دیاگرام تحلیل وضعیت بحرانی

۲- دینامیک سیستم ترمز و حرکت

۲-۱- مدل سیستم ترمز استاتیک و دینامیک

از نقطه نظر دینامیکی، سیستم توقف بخش مهمی از وسیله نقلیه است. در این مقاله یک سیستم ترمز کامل برای اتومبیل شبیه سازی شده، در نظر گرفته شده است. در این بخش دو نوع سیستم ترمز ایستا و پویا با استفاده از فنر و دمپر (SMD) مورد بررسی قرار می گیرند. این روش از هر دو فنر K_p و دمپر C_p استفاده می کند. محرک F_a در دینامیک این وسیله در نظر گرفته شده است [۳].

⁴ Spring Mass Damper

معادله چرخ جلویی سمت چپ را در نظر می‌گیریم [۶].

$$F_{load \beta} = F_{static \beta} + \Delta F_{roll \ front} + \Delta F_{pitch \ left} \quad (۴)$$

که در آن

$$\begin{aligned} F_{static \beta} &= m_{body} \cdot g \cdot \frac{l_r}{l} \cdot \frac{d_r}{d} \\ \Delta F_{roll} &= m_{body} \cdot a_y \cdot \frac{h_{rc}}{d} + K_{roll} \cdot \frac{\Phi_{roll}}{l} \\ \Delta F_{pitch} &= m_{body} \cdot \dot{v}_x \cdot \frac{h_{pc}}{l} + K_{pitch} \cdot \frac{\Phi_{pitch}}{l} \\ \Delta F_{roll \ front} &= \Delta F_{roll} \cdot \frac{l_f}{l} \\ \Delta F_{pitch \ left} &= \Delta F_{pitch} \cdot \frac{d_1}{d} \end{aligned} \quad (۵)$$

برای سادگی، زاویه بدنه متناسب با نیروهای افقی است. علامت Φ ، سرعت زاویه ای و ثابتهای K_{roll} و K_{pitch} سختی بدنه در حالت دور زدن و پرت شدن می‌باشند. [۶]. که برای زوایا فرضهای زیر در نظر گرفته می‌شوند:

$$\begin{aligned} \Phi_{roll} &= \frac{m_{body} \cdot h_{rc} \cdot a_y}{K_{roll} - m_{body} \cdot h_{rc} \cdot g} \\ \Phi_{pitch} &= \frac{m_{body} \cdot h_{pc} \cdot \dot{v}_x}{K_{pitch} - m_{body} \cdot h_{pc} \cdot g} \end{aligned} \quad (۶)$$

که در آن $m/sec^2 \ g = 9.8$ نیروی گرانش است. اگر روابط فوق در مدل وارد شوند، یک مدل کامل از دینامیک اتومبیل بدست می‌آید که می‌توان آنرا در شبیه سازی اضافه کرد. مدل ارائه شده این سوال را بوجود می‌آورد که چگونه، ترمز گرفتن بر جهت گیری اتومبیل اثر می‌گذارد. مسئله اصلی، تعیین نیروی عمل کننده بر چرخها از طرف جاده است که فنر را تحت تأثیر می‌گذارد و ارتفاع آنها را تغییر می‌دهد، این تغییر ارتفاع باعث تغییر مکان مرکز ثقل شده که با تغییر مرکز ثقل روند جهت گیری اتومبیل تغییر می‌کند [۷]. در عمل این نیرو وابستگی کاملی به مشخصات تایر دارد که در طول ترمز کردن این مشخصات خطی هستند. علاوه بر این از آنجا که تحلیل مدل غیر خطی بسیار پیچیده است، سیستم را یک مدل خطی در نظر می‌گیریم [۸].

۳- تحلیل بحران رانندگی

در این بخش به بررسی هوشیاری راننده (DC)، صحت داده‌ها (DA)، پایداری دینامیکی (DS)، و تحلیلگرهای فازی بحران پرداخته می‌شود. ساختار این تحلیلگرها مشابه بوده

به همین دلیل بر روی تحلیل هوشیاری راننده تمرکز می‌شود. سپس بقیه تحلیلها به صورت خلاصه ارائه خواهند شد.

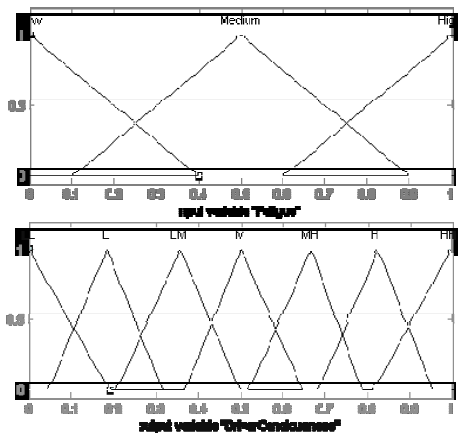
سه پارامتر خواب‌آلودگی، مشغولیت راننده و نویز صوتی ورودی‌های تحلیلگر هوشیاری راننده هستند. پس از فازی کردن ورودی‌ها، قوانین هوشیاری اعمال می‌شوند و خروجی (DC) به کمک روش centriod به حالت غیر فازی بر می‌گردند. تحلیلگر فازی هوشیاری راننده ارائه شده در این مقاله، شامل ۱۸ قانون است که از دانش ما در مورد ارتباط منطقی بین پارامترهای موثر روی هوشیاری راننده بدست آمده‌اند. برخی از این قوانین در زیر آورده شده‌اند [۹، ۱۰].

R_{DC}^1 : If (Fatigue is L) and (Amusements is L) and (Noises is L) then (DC is HH)

R_{DC}^2 : If (Fatigue is M) and (Amusements is L) and (Noises is L) then (DC is H)

R_{DC}^3 : If (Fatigue is M) and (Amusements is L) and (Noises is M) then (DC is MH)

که در آن کم=L، متوسط=M و زیاد=H، مقادیر پارامترهای مجموعه فازی برای خواب‌آلودگی، مشغولیت و نویز هستند [۱۱]. به عنوان مثال، مجموعه‌های فازی خواب-آلودگی در شکل ۳ نشان آورده شده‌اند. مجموعه‌های فازی هوشیاری راننده عبارتند از: خیلی پایین=LL، پایین=L، پایین-متوسط=LM، متوسط=M، متوسط-زیاد=MH و زیاد=H.



شکل ۳: ورودی و خروجی سیستم فازی در حال خواب‌آلودگی

برای توضیح قوانین فازی از شکل عمومی استفاده می‌کنیم [۱۲]:

شکل ۴: نمای سه بعدی از قوانین فازی

به همین ترتیب، برای توضیح قوانین فازی صحت داده (DA)، پایداری دینامیکی (DS) و تحلیلگر فازی بحران یک شکل عمومی در نظر گرفته شده است. که در زیر نشان داده شده است.

R_{DA}^i : If (Network Delay is X12) and (Dust is X22), and (Light is X32), then (DA is Y2), $i=1...20$

R_{DS}^i : If (Position is X13) and (Velocity is X23) then (DS is Y3), $i=1...35$

R_{Crisis}^i : If (Sensor1 is X14) and (Sensor2 is X24), and (Sensor3 is X34), and (Sensor4 is X44), and (DC is X54), and (DA is X64), then (Crisis is Y4), $i=1...35$

که X_{ij} ها اعداد فازی مثلثی شکل و Y یک واحد فازی می باشد. روابط زیر بدست می آیند:

$$m_{DA}^i = \mu_{ND^i}(X12) \cdot \mu_{D^i}(X22) \cdot \mu_{L^i}(X32), i = 1...20 \quad (۸)$$

$$m_{DS}^i = \mu_P^i(X12) \cdot \mu_V^i(X22), i = 1...35 \quad (۹)$$

$$m_{Crisis}^i = \mu_{S1^i}(X14) \cdot \mu_{S2^i}(X24) \cdot \mu_{S3^i}(X34) \cdot \mu_{S4^i}(X44) \cdot \mu_{DC^i}(X54) \cdot \mu_{DA^i}(X64), i = 1...35 \quad (۱۰)$$

که $\mu_{parameter^i}(X_{ij})$ تابع عضویت هر پارامتر است. به کمک روش centroid در غیر فازی کننده، خروجی های زیر بدست می آیند:

$$DA = \frac{\sum_{i=1}^{20} m_{DA}^i \cdot \bar{y}_2^i}{\sum_{i=1}^{20} m_{DA}^i} \quad (۱۱)$$

$$DS = \frac{\sum_{i=1}^{35} m_{DS}^i \cdot \bar{y}_3^i}{\sum_{i=1}^{35} m_{DS}^i} \quad (۱۲)$$

$$Crisis = \frac{\sum_{i=1}^{35} m_{Crisis}^i \cdot \bar{y}_4^i}{\sum_{i=1}^{35} m_{Crisis}^i} \quad (۱۳)$$

که \bar{y}_2^i ، \bar{y}_3^i و \bar{y}_4^i مراکز سطوح DA^i ، DS^i و $Crisis^i$ هستند. زمانی که قواعد فازی درست اعمال شوند، خروجی تحلیلگر شامل تمامی پارامترهای ذکر شده خواهد بود

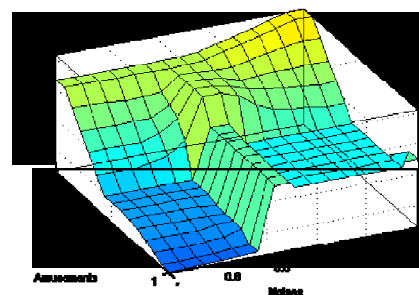
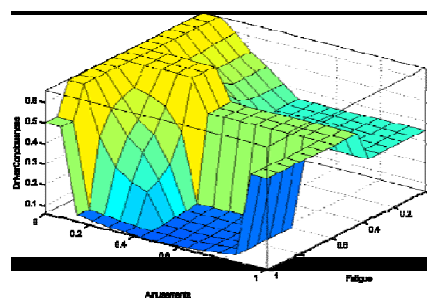
R_{DC}^i : If (Fatigue is X11) and (Amusements is X21), and (Noises is X31), then (DC is Y1), $i=1...18$ که در آن $X1$ ، $X2$ و $X3$ اعداد فازی مثلثی شکل هستند و Y یک خروجی فازی می باشد. اگر فرض شود X و Y ترمهای ورودی و خروجی و P و V مجموعه دلخواه فازی در X باشند. آنگاه مجموعه فازی R^i در $[P, V]$ توسط هر کدام از R^i ها بدست می آید. از رابطه زیر استفاده می شود

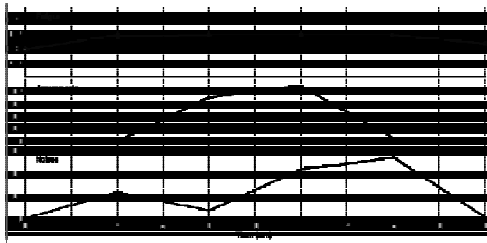
$$m_{DC}^i = \mu_{F^i}(X11) \cdot \mu_{A^i}(X21) \cdot \mu_{N^i}(X31), i=1...18$$

که در آن $\mu_{F^i}(X1)$ ، $\mu_{A^i}(X2)$ ، $\mu_{N^i}(X3)$ به ترتیب از چپ به راست توابع عضویت خواب آلودگی، مشغولیت و نویز می باشند. با استفاده از روش centroid برای غیرفازی کردن می توان خروجی (DC) را بدست آورد، که در رابطه زیر نشان داده شده است:

$$DC = \frac{\sum_{i=1}^{18} m_{DC}^i \cdot \bar{y}_1^i}{\sum_{i=1}^{18} m_{DC}^i} \quad (۷)$$

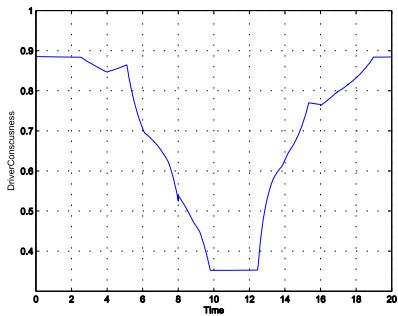
که در آن \bar{y}_1^i مرکز سطح DC^i است. شکل ۴ دو تصویر سه بعدی از قوانین در نظر گرفته شده را نشان می دهد. لازم به ذکر است که همه سیگنالها به صورت نرمالیزه در آمده اند.





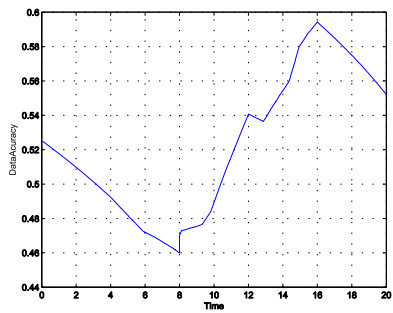
شکل ۶: وضعیت پیش فرض خواب آلودگی، مشغولیت و نویز

خروجی تحلیلگر فازی هوشیاری راننده DC در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷: خروجی تحلیل مشغولیت راننده

خروجی تحلیلگر صحت داده‌ها نیز در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۸: خروجی تحلیل صحت داده‌ها

سیگنالهای نشان داده شده در شکل ۹ و ۱۰، به ترتیب سیگنالهای بحران و بحران پایداری دینامیکی اتومبیل می‌باشند.

(شکل ۱). در ضمن سیگنال Crisis وضعیت بحرانی رانندگی را مشخص می‌کند.

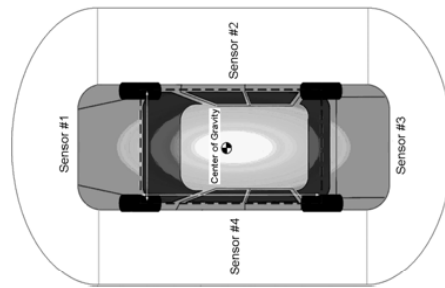
سپس محرکها با توجه به سیگنال Crisis در زمان لازم عمل می‌کنند. مجموعه تحریکهای بکار گرفته شده در این مقاله به شرح زیرند:

الف- یک سیستم هشدار دهنده قبل از وقوع یک حالت بحرانی قبل از وقوع ناپایداری دینامیکی.

ب- تغییر طول دمپر در هنگام رانندگی.

ج- ترمز خودکار برای زمان قرار گرفتن در حالت بحرانی.

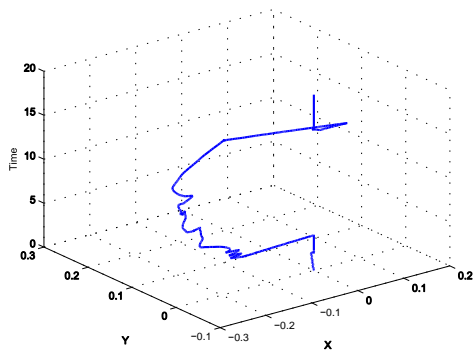
در صورتی که بحران رانندگی ناشی از تشخیص موانع با استفاده از حسگرهای جانبی (حسگرهای ۲ و ۴ در شکل ۵) روی دهد، سیستم ترمز باعث کاهش شتاب می‌شود.



شکل ۵: وضعیت حسگرها بر روی اتومبیل

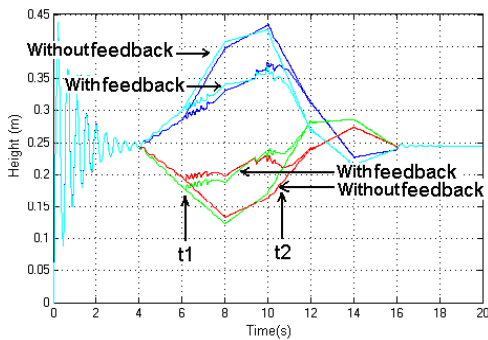
۴- نتایج شبیه سازی

در این بخش، با استفاده از شبیه ساز Simulink در MATLAB، یک جاده ناهموار را برای مسیر اتومبیل فرض می‌کنیم و اتومبیلی با ضریب سختی فنر $K_p = 12000 \text{ N/m}$ ، ضریب میرایی $C_p = 4000 \text{ Ns/m}$ و جرم اتومبیل 1000Kg در نظر می‌گیریم. برای خواب آلودگی، مشغولیت، نویزها، تأخیر شبکه، نور، گرد و غبار و حسگرهای ۱ تا ۴، سیگنالهای از پیش تعیین شده‌ای به عنوان ورودی در نظر می‌گیریم (شکل ۶). در این شبیه سازی پس از تولید سیگنال بحران، تحریک کننده‌ها فعال می‌شوند. پایداری دینامیکی و حفظ تعادل اتومبیل نیز در حین عملکرد محرکها در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۱: خروجی تحلیل مکان مرکز ثقل

شکل ۱۲ تغییر طول کمک فنرها را به صورت A_{fl} ، A_{fr} ، A_{rl} و A_{rr} در دو حالت کنترل و عدم کنترل پایداری دینامیکی اتومبیل در وضعیت بحرانی نشان می‌دهد. هنگامی از وضعیت دینامیکی اتومبیل هیچ گونه پس‌خوردی نداشته باشیم و محرکها فعال نشوند تغییر ارتفاع کمک فنرها بیشتر از زمانی است که سیستم فازی وارد عمل شده و اقدام به کنترل می‌نماید.

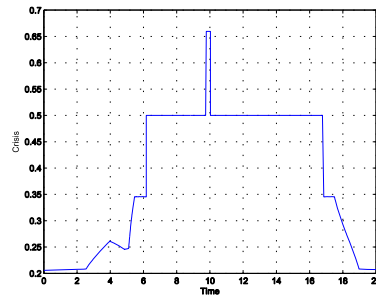


شکل ۱۲: اثر کنترل پویا بر کمک فنرها

شکل ۱۳ نشان دهنده نیروهای وارد شده از طرف سیستم ترمز بر چرخها می‌باشد که در زمان وقوع وضعیت بحرانی فعال شده و با خروج از وضعیت بحرانی نیرویی به چرخها وارد نمی‌کنند.

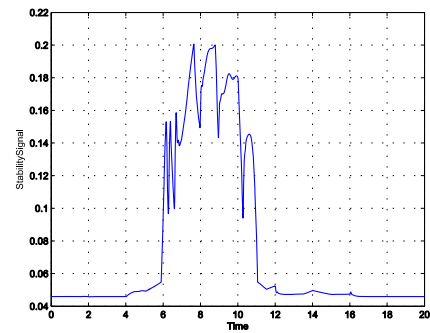
۵- نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید برای ترکیب کردن جلوگیری از موانع نگهداشتن پایداری دینامیکی اتومبیل ارائه شده است. هدف اصلی این مقاله، جهت دادن به تحلیل بحران رانندگی می‌باشد. تحلیلگرهای فازی در این سیستم، از حسگرها و



شکل ۹: خروجی تحلیل وضعیت رانندگی

با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که راننده در زمانهای 6s تا 17s در وضعیت بحرانی قرار دارد. در چنین حالتی سیگنال هشدار روشن شده و تعدادی از تحریک کننده‌ها نیز فعال می‌شوند تا اتومبیل از وضعیت بحرانی خارج شود.



شکل ۱۰: خروجی تحلیل وضعیت پایداری اتومبیل

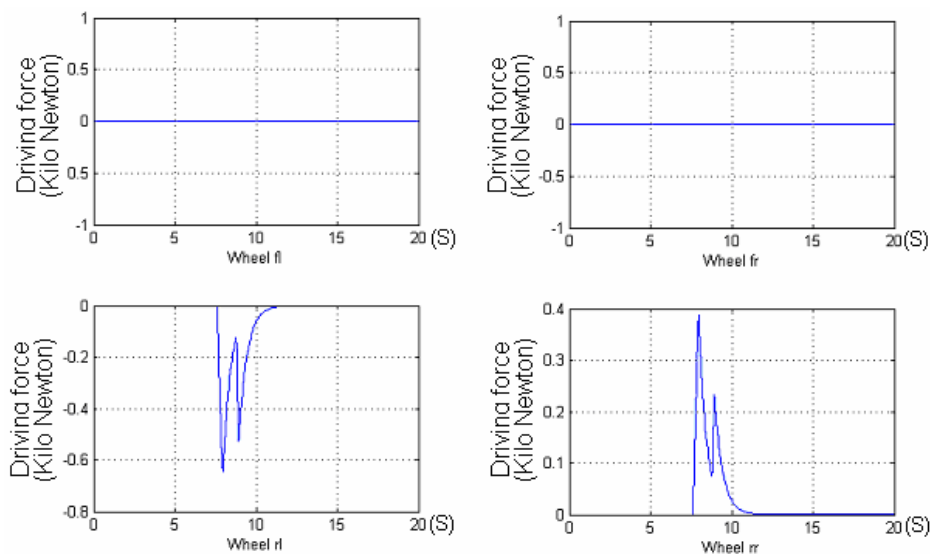
همان گونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، سیگنال بحران پایداری دینامیکی در محدوده 6s تا 11s دارای دامنه زیادی می‌باشد، از اینرو ممکن است ناپایداری دینامیکی رخ دهد، اما انتظار داریم کنترلگر محرکها را برای حفظ تعادل دینامیکی اتومبیل فعال کند و قبل از بروز خطر عمل پیشگیرانه‌ای انجام دهد. شکل ۱۱ موقعیت مرکز ثقل را نشان می‌دهد. با توجه شکل، کنترلگر باعث می‌شود تا مرکز ثقل از محدوده خاصی دورتر نشود و تعادل دینامیکی اتومبیل حفظ شود.

- [6] Takahide Hagiwara Sergey, "An application of a smart control suspension system for a passenger car based on soft computing", Mechanical Engineering, Stanford University, 1998.
- [7] Christopher D. Gadda, "Incorporating a Model of Vehicle Dynamics in a Diagnostic System for Steer", Proceedings of AVEC, pp. 779-784, 2004.
- [8] Mohsen Davoudi, M. B. Menhaj, Mehdi Davoudi, "A Fuzzy Based Vehicle Dynamic Stability Control (FDSC)", SAE Commercial Vehicle Engineering Congress & Exhibition, USA, 2006.
- [9] Kenneth R. Buckholtz, "Use of Fuzzy Logic in Wheel Slip Assignment: Yaw Rate Control with Sideslip Angle Limitation", Delphi Automotive Systems, Vehicle Dynamics and Simulation 2002.
- [10] B. G. Buchanan, E. H. Shortliffe, "Rule-Based Expert Systems", Addison-Wesley, Reading, MA, Menlo Park, CA, 1984.
- [11] V. Novak, I. Perfilieva, J. Mockor, "Mathematical principles of fuzzy logic", Kluwer Academic Publ., Boston/Dordrecht, 1999.
- [12] V. Kreinovich, G. C. Mouzouris, H. T. Nguyen, "Fuzzy rule based modeling as a universal approximation tool", In: H. T. Nguyen, M. Sugeno (eds.), Fuzzy Systems: Modeling and Control, Kluwer, Boston, MA, 1998.

محركه‌های متعددی در تشخیص بحران رانندگی و رد موانع استفاده می‌کنند. شبیه‌سازی عملی نیز در محیط MATLAB نشان داد که تحلیلگر فازی تنها در مواردی عمل می‌کند که در شرایط بحرانی قرار داریم و در مواقع عادی کاری انجام نمی‌دهد. نتایج این ایده را می‌توان در انواع وسایل نقلیه و همچنین روباتها اعمال نمود.

۶- منابع

- [1] Dr. Laszlo, "Problems in Vehicle System Design", Knorr-Bremse Publication, 1991
- [2] Eric J. Rossetter, "A Study of Lateral Vehicle Control under a 'Virtual' Force Framework", Department of Mechanical Engineering, Stanford, California 94305-4021.
- [3] Frederic Mastronardi, Marco Fenoglio, "Vehicle Dynamics with Real Time Damper Systems", FIAT Auto Chassis Department, 1992.
- [4] Mark D. Donahue, "Implementation of an Active Suspension, Preview Controller for Improved Ride Comfort", Department of Mechanical Engineering, Boston University, 1998.
- [5] William F. Milliken, Douglas L. Milliken, Race Car Vehicle Dynamics, SAE International, ISBN: 1-56091-526-9.



شکل ۱۳: نیروهای وارد شده از طرف سیستم ترمز بر چرخها