

Design of a TSK Fuzzy Controller for an Active Suspension System and Compare the Results with the Linear Feedback Controller Actions

Seyed Reza Ahmadzadeh^a, Saeedeh Hasanzadeh^b

^a*Mechanical Engineering Dept., Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran*

^b*Control Engineering Dept., Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran*

Abstract

This paper focuses on the design of a controller for an active suspension system of a 1/4 car model. First, the dynamics equations of the system are extracted and then the system is modeled in state-space. We design a Takagi-Sugeno-Kang (TSK) fuzzy controller for the system and investigate the behavior of the controller for various road-profile inputs in simulation. We compare the behavior of the fuzzy controller against a linear feedback controller designed using the pole-placement technique. The results shows that the proposed fuzzy controller outperforms the linear feedback controller efficiently.

Keywords: Active Suspension System, Fuzzy Controller, State-Space Model, TSK, 1/4 car model

*In Proc. 6th Annual Student Conference of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, February 2009

Email addresses: `seyedreza_ahmadzadeh@yahoo.com` (Seyed Reza Ahmadzadeh), `saeedeh_hh@yahoo.com` (Saeedeh Hasanzadeh)

طراحی کنترل کننده فازی برای سیستم تعلیق فعال خودرو و مقایسه عملکرد آن با نتایج اعمال کنترل کننده فیدبک خطی به سیستم

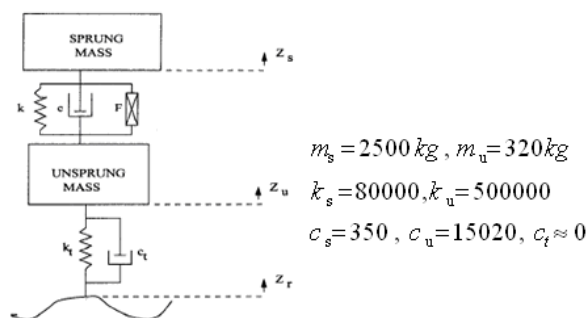
سعیده حسن زاده^۱، سیدرضا احمدزاده^۲

^۱ کارشناس ارشد برق، گرایش کنترل، دانشگاه آزاد تهران واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فنی مهندسی، گروه کنترل؛ saeedeh_hh@yahoo.com

^۲ کارشناس ارشد مکانیک، گرایش طراحی کاربردی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی مهندسی، گروه مکانیک؛ seyedreza_ahmadzadeh@yahoo.com

معادلات دینامیک سیستم و فضای حالت

شمایی از مدل سیستم تعلیق فعال خودرو در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: مدل ۱/۴ خودرو با تعلیق فعال

این سیستم دارای دو درجه آزادی است و با استفاده از قوانین نیوتن معادلات دینامیک این سیستم را می توان به شکل زیر نوشت [۱]:

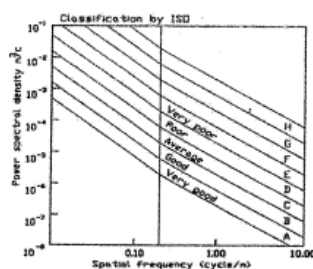
$$\begin{aligned} M_s \ddot{z}_s &= -k_s(z_s - z_u) - c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + u \\ M_u \ddot{z}_u &= k_s(z_s - z_u) + c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_t(z_u - z_r) - c_t(\dot{z}_u - \dot{z}_r) - u \end{aligned} \quad (1)$$

با در نظر گرفتن متغیرهای حالت به فرم زیر ماتریسهای فضای حالت سیستم حاصل می گردند.

$$\begin{aligned} x_1 &= z_s - z_u, \quad x_2 = \dot{z}_s \\ x_3 &= z_u - z_r, \quad x_4 = \dot{z}_u = \dot{w} \end{aligned} \quad (2)$$

مدلسازی ناهمواری جاده

در بسیاری از تحقیقات به عمل آمده در زمینه کنترل سیستم تعلیق خودرو، اغتشاشات جاده با توابع ساده مانند پله و نیمه سینوسی مدل شده اند. درحالیکه تاثیر سطح جاده با استفاده از چنین توابعی به طور کامل مشخص نمی شود. در این مقاله ناهمواریهای یک جاده خاکی براساس طبقه بندی صورت گرفته توسط سازمان جهانی استاندارد بصورت برداری از متغیرهای تصادفی شبیه سازی شده و به عنوان سیگنال ورودی به سیستم داده شده است. [۴]. سیگنال تصادفی ایجاد شده برای شبیه سازی وضعیت جاده نیز در شکل ۳ دیده می شود.



شکل ۲: طبقه بندی ناهمواری جاده توسط ISO

چکیده

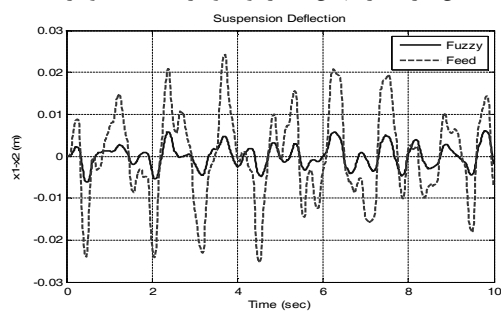
در این مقاله کنترل سیستم تعلیق فعال بر روی مدل ۱/۴ خودرو مورد توجه قرار گرفته است. در ابتدا معادلات دینامیک سیستم استخراج شده و مدلسازی در فضای حالت انجام می گردد. سپس یک کنترل کننده فازی از نوع سوگنو برای سیستم طراحی گشته و به سیستم تعلیق فعال خودرو اعمال می گردد. در مرحله بعد نتایج حاصل از کنترل کننده طراحی شده تحت ورودی های مختلف جاده در برابر یک کنترل کننده فیدبک حالت خطی که با استفاده از روش جابدهی قطب طراحی شده، مقایسه می گردد. نتایج شبیه سازی های انجام شده، حاکی از برتری کنترل کننده فازی نسبت به فیدبک حالت می باشد.

کلمات کلیدی: سیستم تعلیق فعال، کنترل فازی، سوگنو، فضای حالت، مدل ۱/۴ خودرو.

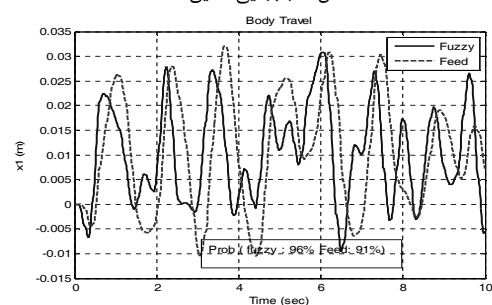
مقدمه

با توجه به اهمیت صنعت خودرو و پیشرفت روزافزون آن، مسئله راحتی سواری و کارایی هدایت، بسیار مورد توجه است. در هر سیستم تعلیق پارامترهای متنوعی وجود دارد که در خصوصیات عملکردی سیستم مانند راحتی سفر، حرکت بدنه اتومبیل، حفظ شدن بر روی جاده و حرکت تعلیق موثر است. البته هیچ سیستم تعلیقی نمی تواند به طور همزمان چهار پارامتر ذکر شده فوق را بهبود بخشد بلکه باید بین این پارامترها به شکل بهینه ای مصالحه برقرار کند. سیستم های تعلیق در کل به سه نوع غیر فعال، نیمه فعال و فعال تقسیم می شوند که در تعلیق فعال امکان به دست آوردن یک مصالحه مناسب بین پارامترها بیشتر از دو نوع دیگر می باشد [۱]. تاکنون تحقیقات متنوعی با فرض وجود یا عدم وجود محرک های مکانیکی که شامل دینامیک های پیچیده غیرخطی می باشند، بر روی سیستم تعلیق انجام گرفته و متناسب با این تحقیقات روشهای کنترلی متنوعی مورد استفاده قرار گرفته است. اسماعیل زاده و تقی راد طراحی فیدبک حالت را برای مدل ۱/۲ و بر اساس کنترل بهینه مورد بررسی قرار داده اند [۲]. در یک بررسی فو او و یاما کاوا و نیز در یک بررسی دیگر ماساشی و هایا کاوا مدل های خطی ۱/۴ و ۱/۲ و مدل کامل را در طراحی کنترل کننده بر اساس کنترل H_∞ انجام داده اند [۳ و ۴]. در جایی دیگر شریعتی مدل غیرخطی ۱/۴، ۱/۲ و کامل را با حذف اثر غیر خطی محرک با کمک فیدبک موازی با کنترل H_∞ ، به انجام رسانده است [۱]. استریسکی، طراحی یک کنترل کننده فازی ممدانی را بر مبنای مدل ۱/۲ به تحقق رسانده [۵] و شینک یک کنترل کننده فازی تاکاگی - سوگنو - یانگ را بر مبنای مدل فازی سیستم تعلیق ۱/۲ طراحی نموده است [۶]. در این مقاله برتری کنترل کننده فازی نسبت به کنترل فیدبک خطی بر روی مدل خودرو دارای سیستم تعلیق فعال مورد توجه قرار گرفته است که با توجه به سادگی در طراحی از قابلیت بسیار خوبی برخوردار است.

می‌آید در حالیکه همین احتمال برای سیستم با کنترل‌کننده فازی برابر ۹۹.۳٪ می‌باشد. این مقادیر مؤید آنست که کنترل‌کننده فازی در یک محدوده مشخص دارای فراچشم کمتر بوده و در نتیجه مطلوبتر است.



شکل ۵: جابجایی تعلیق



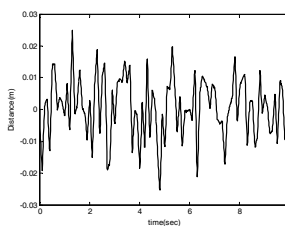
شکل ۶: جابجایی بدنه

نتیجه‌گیری

در این مقاله کنترل سیستم تعلیق فعال از مدل ۱/۴ خودرو با دوروش کنترل فیدبک حالت و کنترل فازی مورد توجه قرار گرفت. پس از نوشتن معادلات دینامیک سیستم و تهیه معادلات فضای حالت و انجام مدل‌سازی، در ابتدا از روش جابجایی قطبها برای تعیین ضرایب کنترل‌کننده فیدبک حالت استفاده شده است و سپس یک کنترل‌کننده سوگنو با تنها ۹ قاعده طراحی شده و مورد استفاده قرار گرفته است. پس از اعمال سیگنال ورودی تصادفی به هر دو سیستم طراحی شده، مشخص گردید که پاسخ کنترل‌کننده فازی نسبت به فیدبک حالت بوضوح مطلوب‌تر بوده و دارای مشخصه‌های عددی بهتری می‌باشد. همانطور که دیده شد احتمال حضور پاسخ سیستم در یک محدوده مشخص برای سیستم فازی به اندازه ۳۲٪ بیشتر از سیستم کنترل دارای فیدبک حالت است.

مراجع

- [۱] شریعتی، آلا، "کنترل مقاوم جهت سیستم تعلیق خودرو"، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، ۱۳۸۲.
- [۲]- Esmaeilzadeh, E., Taghirad, H. D., "Active vehicle suspension with optimal state-feedback control," mechanical science journal, 1996.
- [۳]- Takonori, Fuao., Akira, Yamawaki., "Nonlinear control of active suspension systems with hydraulic actuators," Kyoto University, 38th conference on decision & control, 1999.
- [۴]- Kisaburo, Hayakawa., Matsumto, Masashi., "Output H^∞ Robust feedback control of decoupled active suspension systems," IEEE Trans. On automatic control, 1999.
- [۵]- Stribrsky, Antonin., "Using fuzzy logic to control active suspension system of half car model" Czech university, 2004.
- [۶]- Shinq, Jeu., "Optimal fuzzy control design for half car active suspension systems." Da-yeh university, IEEE conference, 2004.



شکل ۳: سیگنال تصادفی با توزیع گوسین برای جاده بد

البته باید توجه کرد که چون ورودی سیستم یک سیگنال تصادفی است، مقایسه بین پارامترها باید به صورت آماری انجام شود. برای انجام این کار می‌توان محدوده‌ای که سیگنالهای مورد توجه با احتمال ۹۰٪ در آن قرار می‌گیرند را در دو سیستم محاسبه نمود [۴ و ۲]. محدوده نامبرده که با پارامتر x_{90} نشان داده می‌شود، معیاری برای سنجش سیستم است.

$$\lambda_{90} = \sqrt{2} \{Erf\}^{-1}(0.9) \quad (3)$$

$$x_{90} = \lambda_{90} \times \sigma + \text{mean}[x(t)]$$

طراحی کنترل‌کننده فازی

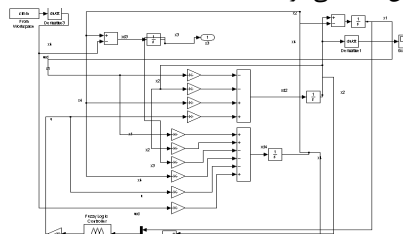
در این مرحله جهت طراحی کنترل‌کننده فازی سوگنو، جابجایی تعلیق و تغییرات آن به صورت متغیر ورودی و نیروی کنترلی به صورت خروجی کنترل‌کننده در نظر گرفته می‌شود. سپس با انتخاب محدوده مناسب برای هر متغیر ورودی سه تابع تعلق مثلثی N و Z و P تعریف کرده و جدول قواعد بر اساس کارایی مطلوب کنترل‌کننده تنظیم می‌شود (جدول ۱). شکل کلی قواعد در چنین سیستمی در رابطه (۴) آورده شده است.

$$\text{if } e \text{ is } M_1 \text{ and } \dot{e} \text{ is } M_2 \text{ then } u \text{ is } N_1 \quad (4)$$

جدول ۱: پایگاه قواعد سیستم فازی

		\dot{e}		
		N	Z	P
e	N	N	N	Z
	Z	N	Z	P
	P	Z	P	P

با یکارگیری موتور استنتاج ضرب، فازی‌ساز منفرد، غیرفازی‌ساز میانگین مراکز و تابع تعلق مثلثی تعریف‌شده در بالا، سیستم فازی نهایی طراحی می‌گردد. البته می‌توان با افزایش تعداد توابع تعلق به کنترل‌کننده فازی ظرفیتری دست یافت که منجر به افزایش محاسبات و کاهش سرعت پاسخگویی می‌شود. در شکل ۴ مدل شبیه‌سازی شده خودرو به‌همراه کنترل‌کننده آن دیده می‌شود.



شکل ۴: حلقه بسته سیستم تعلیق فعال با کنترل‌کننده فازی

بررسی و مقایسه پاسخها

پاسخ سیستم حلقه بسته تعلیق فعال با فیدبک خطی و فازی به ازای اغتشاش تصادفی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. با بررسی آماری پاسخهای سیستم و با انتخاب محدوده ۰.۰۱- تا ۰.۰۱+ احتمال حضور پاسخ جابجایی تعلیق سیستم با کنترل‌کننده فیدبک برابر ۷۴.۹٪ به دست