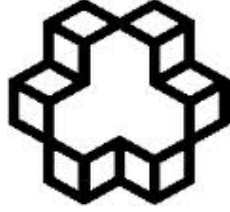


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش طراحی سیستم تعلیق، ترمز و فرمان خودرو

عنوان:

کنترل راحتی سفر با استفاده از شبیه سازی دینامیکی بدن انسان

استاد راهنما

آقای دکتر شهرام آزادی

نگارش

محمد رضا دولیخانی

تأییدیه هیات داوران

هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان کنترل

راحتی سفر با استفاده از شبیه سازی دینامیکی بدن انسان توسط آقای محمدرضا دولیخانی ، صحت و

کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش سیستم‌های

انرژی مورد تأیید قرار می دهند.

۱- استاد راهنما: جناب آقای دکتر شهرام آزادی امضا

۲- استاد ممتحن: جناب آقای دکتر رضا کاظمی امضا

۳- استاد ممتحن: جناب آقای دکتر جعفری امضا

اظهارنامه دانشجو

اینجانب محمدرضا دولیخانی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مکانیک گرایش طراحی سیستم های تعلیق خودرو دانشکده فنی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان نامه با عنوان کنترل راحتی سفر با استفاده از شبیه سازی دینامیکی بدن انسان با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر شهرام آزادی، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان نامه مورد تایید می باشد و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط شخص اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو :

تاریخ :

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.

قدردانی و تشکر

با کمال قدردانی و تشکر از زحمات استاد راهنمای اینجانب ، جناب آقای دکتر شهرام آزادی و با سپاس گذاری از اساتید ممتحن ، جناب آقای دکتر رضا کاظمی و جناب آقای دکتر جعفری و با تشکر از کلیه دوستانی که مرا در انجام این پروژه یاری نمودند.

چکیده

هنگام طراحی سیستم تعلیق در خودروهای سواری معمولی نمی توانیم معیارهای راحتی و پایداری را به تنهایی در نظر بگیریم. در این مواقع با توجه به کلاس کاری خودرو معیارهای راحتی و پایداری همراه یکدیگر و با نسبتی معین در طراحی سیستم تعلیق دخالت خواهند داشت. اصولاً در چنین مواقعی مزایای معیارهای ذکر شده را به دلیل در نظر گرفتن نسبی معیار دیگر از دست می دهیم.

آنچه در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته است، طراحی کنترلی است که شتاب ناشی از ارتعاشات منتقل شده به بدن انسان را کاهش دهد و همچنین در مواقع بحرانی میزان جابجایی تایلر نسبت به جاده را کمتر کند.

مدل پیشنهادی برای بدن یک مدل چهار درجه آزادی و مدل پیشنهادی برای خودرو یک مدل هفت درجه آزادی است. کنترلر پیشنهادی یک کنترلر بهینه-فازی است که کنترلر بهینه برای طراحی فیدبک حالت و کنترلر فازی برای تغییر در توابع وزنی کنترلر بهینه مورد استفاده قرار گرفته است. برای تأیید مقاوم بودن کنترلر طراحی شده، انواع ورودی های جاده واقعی با تغییر در سرعت حرکت خودرو به مدل اعمال شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که این کنترلر تأثیر بسیار زیادی در کاهش شتاب منتقل شده به بدن و همچنین در مواقع بحرانی باعث کاهش جابجایی تایلر نسبت به ورودی جاده شده است.

کلمات کلیدی: سیستم تعلیق نیمه فعال^۱، فیدبک حالت^۲، منطق فازی^۳، سیمولینک^۴، شتاب عمودی^۵، مدل بیودینامیکی بدن^۶.

¹ Semi-active suspension

² State feedback

³ Fuzzy logic

⁴ Simulink

⁵ Bounce acceleration

⁶ biodynamic models of human

چکیده

فصل اول نگاهی بر کارهای انجام شده و بیان هدف

مقدمه	۲
نگاهی بر کارهای انجام شده	۱-۱ ۲
بیان هدف	۲-۱ ۷

فصل دوم انواع مدل های دینامیکی بدن

مقدمه	۱۰
معیار راحتی سواری	۱-۲ ۱۱
مدل سازی بدن انسان	۲-۲ ۱۲
مدل های ارائه شده	۳-۲ ۱۳

فصل سوم طراحی کنترلر بهینه

مقدمه	۳۳
طراحی فیدبک حالت با روش LQR	۱-۳ ۳۳
پاسخ فرکانسی به ازای مقادیر مختلف توابع وزنی	۱-۱-۳ ۳۸
پاسخ به ورودی سینوسی	۲-۱-۳ ۴۱
پاسخ به جاده واقعی	۳-۱-۳ ۴۴
مدل هفت درجه آزادی خودرو به همراه مدل بدن انسان	۲-۳ ۴۸

فصل چهارم سیستم های فازی و کنترل فازی

۵۳	..... تاریخچه منطق فازی	۱-۴
۵۵	..... سیستم های فازی و ویژگی های آن ها	۲-۴
۵۵	..... سیستم های فازی خالص	۱-۲-۴
۵۶	..... سیستم های تاکاگی ، سوگینو و یانگ	۲-۲-۴
۵۶	..... مدل فازی سوگینو	۱-۲-۲-۴
۵۸	..... طراحی ساختار مدل فازی سوگینو	۲-۲-۲-۴
۵۹	..... سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی	۳-۲-۲-۴
۶۱	..... سیستم های با فازی ساز و غیر فازی ساز	۳-۲-۴
۶۱	..... فرمول های کلاس های مختلف سیستم های فازی	۳-۴
۶۳	..... کنترل فازی	۴-۴
۶۳	..... کنترلر فازی غیر تطبیقی	۱-۴-۴
۶۵	..... کنترلر فازی تطبیقی	۲-۴-۴
۶۸	..... کنترلر فازی - بهینه	۵-۴

فصل پنجم نتایج ، بحث و برداشت

۷۲	.....	مقدمه	
۷۳	.....	پاسخ به ورودی برآمدگی	۱-۵
۷۴	.....	پاسخ به ورودی سینوسی	۲-۵
۷۷	.....	انواع جاده های واقعی	۳-۵
۷۸	.....	جاده نوع B	۱-۳-۵
۸۱	.....	جاده نوع C	۲-۳-۵
۸۳	.....	جاده نوع D	۳-۳-۵
۸۷	.....	نتیجه گیری	۴-۵
۸۷	.....	پیشنهادات	۵-۵

مراجع

فهرست شکل ها

فصل دوم

- شکل (۱-۲) معیار راحتی سواری برای شتاب های عمودی
- شکل (۲-۲) پاسخ فرکانسی مدل Ceorman شکل (۳-۲) شماتیک مدل Wei و Griffin
- شکل (۴-۲) پاسخ فرکانسی مدل Wei و Griffin
- شکل (۵-۲) شماتیک مدل Nash و Muksian
- شکل (۶-۲) پاسخ فرکانسی مدل Nash و Muksian
- شکل (۷-۲) شماتیک مدل Allen
- شکل (۸-۲) پاسخ فرکانسی مدل Allen
- شکل (۹-۲) شماتیک مدل Wei و Griffin
- شکل (۱۰-۲) پاسخ فرکانسی مدل Wei و Griffin
- شکل (۱۱-۲) شماتیک مدل Suggs et al
- شکل (۱۲-۲) پاسخ فرکانسی مدل Suggs et al
- شکل (۱۳-۲) شماتیک مدل Wan و Schimels
- شکل (۱۴-۲) پاسخ فرکانسی مدل Wan و Schimels و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی برای شتاب سر

شکل (۱۵-۲) شماتیک مدل Rakheja و Boileau

شکل (۱۶-۲) پاسخ فرکانسی مدل Rakheja و Boileau

شکل (۱۷-۲) شماتیک مدل Liu et al

شکل (۱۸-۲) پاسخ فرکانسی مدل Liu et al

شکل (۱۹-۲) شماتیک مدل Muksian و Nash

شکل (۲۰-۲) پاسخ فرکانسی مدل Muksian و Nash

شکل (۲۱-۲) شماتیک مدل Qassem et al

شکل (۲۳-۲) پاسخ فرکانسی مدل Qassem et al

شکل (۲۴-۲) شماتیک مدل Qassem ,Othman

فصل سوم

شکل (۱-۳) مدل ربع خودرو با مدل ساده بدن

شکل (۲-۳) نمودار بلوکی فیدبک حالت

شکل (۳-۳) پاسخ فرکانسی تغییر مکان تایر نسبت به ورودی جاده

شکل (۴-۳) پاسخ فرکانسی شتاب بدنه خودرو

شکل (۵-۳) پاسخ فرکانسی شتاب بدن انسان

شکل (۶-۳) پاسخ فرکانسی تغییر مکان تایر نسبت به ورودی جاده

- شکل (۷-۳) پاسخ فرکانسی شتاب بدنه خودرو
- شکل (۸-۳) پاسخ فرکانسی شتاب بدن انسان
- شکل (۹-۳) تغییر مکان تایر نسبت به ورودی سینوسی با فرکانس ۱ هرتز
- شکل (۱۰-۳) شتاب بدنه خودرو به ورودی سینوسی با فرکانس ۱ هرتز
- شکل (۱۱-۳) شتاب بدن انسان به ورودی سینوسی با فرکانس ۱ هرتز
- شکل (۱۲-۳) تغییر مکان تایر نسبت به ورودی سینوسی با فرکانس ۱۰ هرتز
- شکل (۱۳-۳) شتاب بدنه خودرو به ورودی سینوسی با فرکانس ۱۰ هرتز
- شکل (۱۴-۳) شتاب بدن انسان به ورودی سینوسی با فرکانس ۱۰ هرتز
- شکل (۱۵-۳) جاده نوع B
- شکل (۱۶-۳) شتاب بدن انسان
- شکل (۱۷-۳) شتاب بدنه خودرو
- شکل (۱۸-۳) تغییر مکان تایر نسبت به ورودی جاده
- شکل (۱۹-۳) تغییر مکان تایر نسبت به ورودی جاده
- شکل (۲۰-۳) شتاب بدن انسان
- شکل (۲۱-۳) مدل هفت درجه آزادی خودرو به همراه مدل بدن

فصل چهارم

- شکل (۱-۴) ساختار اصلی سیستم های فازی خالص
- شکل (۲-۴) ساختار اصلی سیستم فازی TSK
- شکل (۳-۴) زیر مجموعه ها
- شکل (۴-۴) طراحی کنترل فازی بر اساس مدل T-S
- شکل (۵-۴) سیستم با دو ورودی و یک خروجی
- شکل (۶-۴) ساختار اصلی سیستم فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز
- شکل (۷-۴) ساختار یک سیستم کنترل فازی دو سطحی نوع اول
- شکل (۸-۴) ساختار یک سیستم کنترل فازی دو سطحی نوع دوم
- شکل (۹-۴) ساختار سیستم کنترل فازی تطبیقی
- شکل (۱۰-۴) نمودار بلوکی کنترلر فازی - LQR
- شکل (۱۱-۴) صفحه فازی خروجی از شبکه ANFIS برای کنترل تابع وزنی شتاب بدن انسان
- شکل (۱۲-۴) صفحه فازی خروجی از شبکه ANFIS برای کنترل تابع وزنی جابجایی تایر نسبت به جاده

فصل پنجم

- شکل (۱-۵) ورودی برآمدگی
- شکل (۲-۵) جابجایی تایر نسبت به جاده
- شکل (۳-۵) شتاب بدنه خودرو
- شکل (۴-۵) شتاب سر انسان
- شکل (۵-۵) تغییر مکان تایر نسبت به ورودی سینوسی با فرکانس ۱ هرتز
- شکل (۶-۵) شتاب بدنه خودرو به ورودی سینوسی با فرکانس ۱ هرتز
- شکل (۷-۵) شتاب بدن انسان به ورودی سینوسی با فرکانس ۱ هرتز
- شکل (۸-۵) تغییر مکان تایر نسبت به ورودی سینوسی با فرکانس ۱۰ هرتز
- شکل (۹-۵) شتاب بدنه خودرو به ورودی سینوسی با فرکانس ۱۰ هرتز
- شکل (۱۰-۵) شتاب بدن انسان به ورودی سینوسی با فرکانس ۱۰ هرتز
- شکل (۱۱-۵) سطح فازی برای تابع وزنی راحتی سفر (کنترل توابع وزنی شتاب)
- شکل (۱۲-۵) سطح فازی برای تابع وزنی پایداری (کنترل توابع وزنی جابجایی تایر نسبت به ورودی جاده)
- شکل (۱۳-۵) جاده نوع B
- شکل (۱۴-۵) روند تغییرات سرعت خودرو روی جاده نوع B
- شکل (۱۵-۵) روند تغییرات تابع وزنی مربوط به جابجایی تایر نسبت به جاده

- شکل (۱۶-۵) روند تغییرات تابع وزنی مربوط به شتاب بدن انسان
- شکل (۱۷-۵) جابجایی تایر نسبت به جاده
- شکل (۱۸-۵) شتاب سر انسان
- شکل (۱۹-۵) جاده نوع C
- شکل (۲۰-۵) روند تغییرات سرعت خودرو روی جاده
- شکل (۲۱-۵) تغییر مکان تایرها نسبت به جاده
- شکل (۲۲-۵) شتاب سر و گردن
- شکل (۲۳-۵) جاده نوع D
- شکل (۲۴-۵) روند تغییرات سرعت خودرو
- شکل (۲۵-۵) تغییر مکان تایرها نسبت به جاده
- شکل (۲۶-۵) شتاب سر و گردن
- شکل (۲۷-۵) شتاب اجزای داخلی قفسه سینه، معده و روده (viscera)
- شکل (۲۸-۵) شتاب بدنه خودرو
- شکل (۲۹-۵) شتاب سر و گردن انسان

فهرست جداول

فصل دوم

- جدول (۱-۲) پارامترهای مدل Ceorman
- جدول (۱-۲) پارامترهای مدل Griffin و Wei
- جدول (۳-۲) پارامترهای مدل Nash و Muksian
- جدول (۴-۲) پارامترهای مدل Allen
- جدول (۵-۲) پارامترهای مدل Griffin و Wei
- جدول (۶-۲) پارامترهای مدل Suggs et al
- جدول (۷-۲) پارامترهای مدل Schimels و Wan
- جدول (۸-۲) پارامترهای مدل Rakheja و Boileau
- جدول (۹-۲) پارامترهای مدل Liu et al
- جدول (۱۰-۲) پارامترهای مدل Muksian و Nash
- جدول (۱۱-۲) پارامترهای مدل Qassem et al
- جدول (۱۲-۲) پارامترهای مدل Qassem ,Othman

فهرست علائم و اختصارات

m_{ufl}	جرم تاثیر جلوی خودرو (جرم فنربندی نشده)
m_{ufr}	جرم تاثیر جلوی خودرو (جرم فنربندی نشده)
m_{url}	جرم تاثیر عقب خودرو (جرم فنربندی نشده)
m_{urr}	جرم تاثیر عقب خودرو (جرم فنربندی نشده)
m_s	جرم بدنه خودرو (جرم فنربندی شده)
I_y	ممان اینرسی حول محور عرضی خودرو
I_x	ممان اینرسی حول محور طولی خودرو
k_{sf}	فنر سیستم تعلیق در قسمت جلوی خودرو
k_{sr}	فنر سیستم تعلیق در قسمت عقب خودرو
c_{sf}	دمپر سیستم تعلیق در قسمت جلوی خودرو
c_{sr}	دمپر سیستم تعلیق در قسمت عقب خودرو
k_t	ضریب فنریت برای هر یک از تایرها
a	فاصله جرم فنربندی نشده جلوی خودرو تا محور عرضی خودرو
b	فاصله جرم فنربندی نشده عقب خودرو تا محور عرضی خودرو

ف

c

فاصله جرم فنربندی نشده خودرو تا محور طولی

خودرو

e

فاصله طولی محل قرارگیری راننده تا مرکز جرم بدنه

خودرو

f

فاصله عرضی محل قرارگیری راننده تا مرکز جرم

بدنه خودرو

فصل اول:

نگاهی بر کارهای انجام شده و بیان هدف