پردیس بین الملل

گروه مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

طراحی و بهینه سازی چند هدفه کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح

از

میلاد پویا

استاد راهنما :

نادر نریمان زاده

مهر۱۳۹۲

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم .

تقدیر و تشکر

سپاس وتشکر خود را به حضور اساتید و عزیزانی که در مراحل مختلف آماده سازی این رساله سهیم بوده اند تقدیم می دارم و از خداوند متعال برای آنها توفیق و سعادت آرزو می کنم؛ مخصوصاً از استاد با کمالات و شایسته جناب آقای دکتر نادر نریمان زاده که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند. همچنین از استادان فرزانه و دلسوز، آقای دکتر احمد باقری و آقای دکتر علی جمالی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از استاد صبور و با تقوا، جناب آقای دکتر علی باستی، مدیریت محترم گروه، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید.

فهرست مطالب

فهرست جدول ها..... ح
فهرست شکل ها..... ح
چکیده فارسی..... د
چکیده انگلیسی..... ذ
فصل ۱ مقدمه..... ۱
۱-۱- کنترل..... ۲
۱-۲- مروری بر تاریخ..... ۲
۱-۳- کنترل غیر خطی..... ۳
۱-۴- رفتار سیستم های غیر خطی..... ۴
۱-۵- تحلیل سیستم های غیر خطی..... ۵
۱-۶- نظریه لیاپانوف..... ۵
۱-۷- سیستم و کنترل کننده های مرتبه کسری..... ۶
۱-۸- اهداف پژوهش..... ۶
فصل ۲ کنترل مد لغزشی..... ۹
۲-۱- مقدمه..... ۱۰
۲-۳- طراحی کنترل کننده مد لغزشی کلاسیک..... ۱۱
۲-۴- قضیه ۱ کنترل مد لغزشی معمولی..... ۱۶
۲-۵- کنترل انتگرالی..... ۱۸
۲-۶- تقریب های پیوسته قوانین کنترل سوییچینگ..... ۲۰
۲-۷- نتیجه گیری..... ۲۲
فصل ۳ محاسبات مرتبه کسری..... ۲۳
۳-۱- مقدمه..... ۲۴
۳-۳- تابع گاما..... ۲۷
۳-۴- تعاریف پرکاربرد مشتقات و انتگرال های مرتبه ناصحیح..... ۲۹
۳-۴-۱- تعریف انتگرال و مشتق کسری ریمان –لیوویل..... ۲۹
۳-۵- تعریف گراندوالد - لتنیکوف..... ۳۱
۳-۶- تعریف الدهوم و اسپینر ۳۶
۳-۷- تعریف رس میلر..... ۳۶
۳-۸- خواص محاسبات مرتبه غیر صحیح..... ۳۶
۳-۹- معادلات دیفرانسیل با مرتبه غیر صحیح..... ۳۷
۳-۱۰- نتایج و بحث..... ۳۸

فصل ۴ کنترل مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح ۳۹
۴-۱- مقدمه ۴۰
۴-۲- کنترلر مد لغزشی با مشتق مرتبه غیر صحیح ۴۱
۴-۳- طراحی کنترلر مد لغزشی مرتبه غیر صحیح و سیستم مرتبه صحیح ۴۲
۴-۴- طراحی کنترلر مد لغزشی مرتبه غیر صحیح و سیستم مرتبه غیر صحیح ۴۵
۴-۵- سطح لغزش ۴۶
۴-۵-۲- اجتناب از چترینگ ۴۹
فصل ۵ الگوریتم ژنتیک ۵۰
۵-۱- مقدمه ۵۱
۵-۲- تاریخچه ۵۱
۵-۳- تاریخچه بیولوژیکی ۵۱
۵-۴- ساختار الگوریتم‌های ژنتیکی ۵۱
۵-۵- عملگرهای الگوریتم ژنتیک ۵۲
۵-۶- روند کلی الگوریتم‌های ژنتیکی ۵۵
۵-۷- شرط پایان الگوریتم ۵۷
۵-۸- برخی از کاربرد الگوریتم‌های ژنتیکی ۶۰
۵-۹- بهینه سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۶۱
۵-۱۰- نتیجه گیری ۶۲
فصل ۶ بحث و بررسی نتایج بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح ۶۳
۶-۱- مقدمه ۶۴
۶-۲- نتایج حاصل از بهینه سازی کنترلر مد لغزشی مرتبه غیر صحیح و سیستم مرتبه صحیح ۶۵
۶-۳- نتایج حاصل از بهینه سازی کنترلر مرتبه غیر صحیح با سیستم مرتبه غیر صحیح ۸۱
۶-۴- پیشنهادات ۸۸
منابع و مراجع ۸۹

فهرست جدول ها

جدول ۱ مجموعه بهینه پارتو، بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه صحیح برای آونگ..... ۶۶
جدول ۲ مجموعه بهینه پارتو بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح برای آونگ..... ۶۸
جدول ۳مجموعه بهینه پارتو، بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه صحیح برای سیستم جرم و فنر و دمپر..... ۷۴
جدول ۴ مجموعه بهینه پارتو بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح برای آونگ..... ۷۶
جدول ۵ مجموعه جواب حاصل از بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح..... ۸۳

فهرست شکل ها

شکل (۱-۱) پاسخ سیستم به پله واحد ۴
شکل (۲-۱) شرط لغزشی ۱۴
شکل (۲-۲) کنترل مد لغزشی ۱۵
شکل (۲-۳) تعبیر ترسیمی معادلات ۷و ۴ ..... ۱۵
شکل (۲-۴) لایه مرزی ۲۰
شکل (۲-۵) درون یابی ورودی کنترل در لایه مرزی ۲۱
شکل (۲-۶) تابع $sat(s\Phi)$ برای از بین بردن پدیده چترینگ در کنترل حالت لغزشی ۲۲
شکل (۳-۱) تقریبی از تابع گاما ۲۹
شکل (۳-۲) ریمان –لیوویل ۳۰
شکل (۳-۳) انتگرال گیری به شیوه ریمان –لیوویل ۳۰
شکل (۳-۴) دیاگرام بلوکی نحوه مشتق گیری به شیوه LHD ۳۱
شکل (۳-۵) مشتق گیری از تابع $f(x)$ از مرتبه ۲/۳ با استفاده از تعریف LHD ۳۱
شکل (۳-۶) گراند لتنیکف ۳۲
شکل (۳-۷) نمایش گرافیکی از روش تعریف دست چپ ۳۳
شکل (۳-۸) نمایش گرافیکی از روش تعریف دست راست ۳۴
شکل (۵-۱) نحوه ارزیابی شایستگی در چرخ رولت ۵۳
شکل (۵-۲) یک نمونه تلفیق (آمیزش) ۵۴
شکل (۵-۳) شکل ۱ روش ادغام دو نقطه ای ۵۴
شکل (۵-۴) شکل ۲ تلفیق جامع ۵۴
شکل (۵-۵) یک کروموزوم قبل و بعد از اعمال عملگر جهش ۵۵
شکل (۵-۶) کد برنامه مجازی الگوریتم ژنتیک ساده و فلوچارت آن ۵۶
شکل (۵-۷) شکل ۳ نحوه ارزیابی تابع شایستگی در چرخ رولت ۵۷
شکل (۵-۸) شکل کلی یک بهینه سازی چند هدفه ۶۲
شکل (۶-۱) طرح اولیه آونگ ۶۵
شکل (۶-۲) مجموعه پارتو بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه صحیح آونگ ۶۶
شکل (۶-۳) نمودار مجموعه پارتو بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح آونگ ۶۸
شکل (۶-۴) مقایسه ورودی کنترلر مد لغزشی با مرتبه صحیح و غیر صحیح بهینه سازی شده آونگ، طرح A ۶۹
شکل (۶-۵) مقایسه خطای ردیابی کنترلر مدلغزشی بهینه سازی شده مرتبه صحیح و غیر صحیح آونگ، طرح A ۷۰
شکل (۶-۶) مقایسه کنترلر مد لغزشی با مرتبه صحیح و غیر صحیح بهینه سازی شده آونگ، طرح B ۷۱
شکل (۶-۷) مقایسه خطای ردیابی کنترلر مدلغزشی بهینه سازی شده مرتبه صحیح و غیر صحیح آونگ، طرح B ۷۱
شکل (۶-۸) مقایسه ورودی کنترلر مد لغزشی با مرتبه صحیح و غیر صحیح بهینه سازی شده آونگ، طرح C ۷۲
شکل (۶-۹) مقایسه خطای ردیابی سیستم با کنترلر مدلغزشی با مرتبه صحیح و غیر صحیح بهینه سازی شده، با توجه به طرح های C در نمودار های پارتو شکل های ۶-۲ و ۶-۳ ..... ۷۲
شکل (۶-۱۰) سیستم جرم- فنر-دمپر ۷۳
شکل (۶-۱۱) مجموعه پارتو بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه صحیح برای سیستم جرم و فنر و دمپر ۷۴
شکل (۶-۱۲) نمودار مجموعه پارتو بهینه سازی کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح برای سیستم جرم – فنر-دمپر ۷۶

شکل (۶-۱۳) مقایسه ورودی کنترلر مد لغزشی مرتبه صحیح و غیر صحیح بهینه سازی شده جرم- فنر-دمپر، طرح A ۷۷
شکل (۶-۱۴) مقایسه خطای ردیابی کنترلر مدلغزشی بهینه سازی شده مرتبه صحیح و غیر صحیح سیستم جرم- فنر-دمپر، طرح A ۷۸
شکل (۶-۱۵) مقایسه ورودی کنترلر مد لغزشی مرتبه صحیح و غیر صحیح بهینه سازی شده جرم- فنر-دمپر، طرح B ۷۹
شکل (۶-۱۶) مقایسه خطای ردیابی کنترلر مدلغزشی بهینه سازی شده مرتبه صحیح و غیر صحیح سیستم جرم-فنر-دمپر، طرح B ۷۹
شکل (۶-۱۷) مقایسه ورودی کنترلر مد لغزشی مرتبه صحیح و غیر صحیح بهینه سازی شده جرم- فنر-دمپر، طرح C ۸۰
شکل (۶-۱۸) مقایسه خطای ردیابی کنترلر مدلغزشی مرتبه صحیح و غیر صحیح بهینه سازی شده سیستم جرم- فنر-دمپر، طرح C ۸۰
شکل (۶-۱۹) عملکرد کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح برای سیستم ۶-۸ ..... ۸۲
شکل (۶-۲۰) خطای ردیابی سیستم کنترلی ۶-۸ ..... ۸۲
شکل (۶-۲۱) نمودار پارتو ۸۳
شکل (۶-۲۲) مقایسه ورودی کنترل سیستم کنترلی مرتبه کسری با اعمال الگوریتم ژنتیک، با نتایج موجود در [۴۲] ، با توجه به طرح A ۸۴
شکل (۶-۲۳) مقایسه خطای ردیابی سیستم کنترلی مرتبه کسری با استفاده از الگوریتم ژنتیک، با نتایج موجود در [۴۲] ، با توجه به طرح A ۸۴
شکل (۶-۲۴) مقایسه خطای ردیابی سیستم کنترلی مرتبه کسری با اعمال الگوریتم ژنتیک با نتایج موجود در [۴۲]، با توجه به طرح C در نمودار پارتو شکل ۶-۱۲ ..... ۸۵
شکل (۶-۲۵) مقایسه ورودی کنترل سیستم کنترلی مرتبه کسری با اعمال الگوریتم ژنتیک با نتایج موجود در [۴۲] ، با توجه به طرح C در نمودار پارتو شکل ۶-۱۲ ..... ۸۶
شکل (۶-۲۶) مقایسه خطای ردیابی سیستم کنترلی مرتبه کسری با استفاده از الگوریتم ژنتیک با نتایج موجود در [۴۲]، طرح B ۸۶
شکل (۶-۲۷) مقایسه ورودی کنترل سیستم کنترلی مرتبه کسری با اعمال الگوریتم ژنتیک با نتایج موجود در [۴۲] ، طرح B ۸۷
شکل (۶-۲۸) مقایسه مقدار خروجی بدست آمده با اعمال الگوریتم ژنتیک و مقدار مطلوب طرح ۱۶ ..... ۸۷

چکیده

عنوان : طراحی و بهینه سازی چند هدفی کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح
نام دانشجو : میلاد پویا

از آنجایی که مدل سازی سیستم ها اولین گام در کنترل آنها می باشد, تلاش برای بدست آوردن مدل هایی دقیق تر که بیشترین تطابق را با واقعیت داشته باشند همواره مورد توجه و امری ضروری بوده است. علیرغم اینکه مدل های رایج با معادلات دیفرانسیل از مرتبه صحیح ارائه می شوند نشان داده شده است که بسیاری از سیستم های موجود در طبیعت از معادلاتی با مراتب غیر صحیح پیروی می کنند. در سال های اخیر تلاش های بسیاری برای مدل کردن سیستم با استفاده از معادلاتی که مراتب غیر صحیح دارند صورت گرفته است. در این نوع توصیف, مدل ها دارای درجات مشتق و انتگرال به طور کلی غیر صحیح هستند.

طراحی کنترل بهینه برای سیستم های غیر خطی و نامعین از جمله مسائل مهم در مهندسی کنترل می باشد. یکی از روشهای پرکاربرد برای کنترل سیستم های غیر خطی و نامعین روش مد لغزشی می باشد. برای انعطاف پذیری بیشتر کنترلر و همچنین تطابق بیشتر آن با سیستم هایی از مرتبه غیر صحیح می توان مرتبه مشتق کنترلر را غیر صحیح در نظر گرفت .

در این پایان نامه کنترلر مد لغزنده با مرتبه غیر صحیح به صورت بهینه برای سیستم های با مرتبه غیر صحیح و صحیح طراحی می گردد .لازم به ذکر است که برخی پارامتر هایی که اساس مد لغزشی را تعریف می کنند با استفاده بهینه سازی چند هدفی با الگوریتم ژنتیک به دست خواهد آمد.

کلید واژه : محاسبات مرتبه غیر صحیح، کنترل مد لغزشی، الگوریتم ژنتیک

Abstract

Title : Pareto optimal design of fractional sliding mode control

Author : Milad Pouya

Sliding mode control is a nonlinear control strategy that consists of providing a control action that restricts the plant to control to function according to some pre-defined simple dynamic. This desired dynamic is called sliding surface. When the plant follows the sliding surface, it is in sliding mode.

Fractional sliding mode control is the use of sliding mode control with fractional plants, or the use of sliding mode control with a sliding surface corresponding to a fractional order dynamic, or both. Here, "fractional" refers to the inclusion of fractional derivatives in the differential equation governing the dynamic .

A multi objective genetic algorithm identifies parameters of the sliding mode controller and order of fractional derivative . Simulation study has been carried out to evaluate the performance of the proposed controller and to compare the performance with respect the conventional sliding mode controller.

Keywords**:** Fractional Control , Sliding Mode Control (SMC) , Genetic Ǻlgorithm

فصل ۱ مقدمه

۱-۱- کنترل

مهندسی کنترل و کنترل خودکار، یکی از بخش های اساسی در مهندسی است، که سعی در شناسای، مدل سازی و کنترل رفتار های سیستم های کاربردی دارد. به این ترتیب مطالعه و بررسی آن مخصوص به دسته ای خاص از رشته ها نشده و می تواند گستره وسیعی از مسائل روزمره را در برگیرد. این مسائل می توانند از کنترل دمای یک اتاق با وجود منابع مختلف ایجاد خلل از جمله باز و بسته شدن درب یا جریان هوای پنجره تا مدیریت و مدل سازی مسیر حرکت یک هواپیمای فوق پیشرفته را شامل شود. از این رو توجه به آن در اکثر رشته های دانشگاهی اهمیت ویژه ای برخوردار است.

با توجه به پیچیده شدن سیستم های تولید شده توسط انسان از یک طرف و همچنین هزینه بر بودن پیاده سازی سیستم های کنترلی آزمایشی به طور عملی، لزوم ایجاد نرم افزار های طراحی و مدل سازی سیستم ها و کنترل گر ها احساس شد، تا به این ترتیب، سیستم های طراحی شده در مراحل ابتدایی مورد مدل سازی کامپیوتری قرار گرفته و نقاط ضعف و قوت آن ها مشخص شود، و در نهایت به مرحله تولید برسند. از این رو نرم افزار های مدل سازی امررزه از اهمیت بسیار زیادی برخوردارند. در میان نرم افزار مهندسی MATLAB گوی سبقت را از سایر نرم افزارهای همرده خود ربوده است و با عرضه نرم افزارهای جانبی کاربردی، خود را میان اکثریت خیل دانشگاهیان جا انداخته است.

۱-۲- مروری بر تاریخ

اولین گام برجسته در زمینه کنترل خودکار، از مرکز جیمز وات به منظور کنترل سرعت ماشین های بخار در قرن هیجدهم بوده است. دیگر کار های برجسته در مراحل اولیه بسط نظریه کنترل توسط مینورسکی، هازن، نایکوبیست و دیگران انجام شده است. در ۱۹۹۲ مینورسکی بر روی کنترل خودکار کشتی ها کار کرده و نشان داد که چگونه می توان پایداری را با توجه به معادلات دیفرانسیل توصیف کننده سیستم تعیین کرد. در ۱۹۳۲، نایکوبیست روش نسبتا ساده ای برای تعیین پایداری سیستم های حلقه بسته، بر اساس پاسخ حلقه باز به ورودی های سیسنوسی، ارائه کرد. در سال ۱۹۳۴ هازن سرو ومکانیسم برای سیستم های کنترل وضعیت از ابداعات اوست، طراحی یک سیستم سروو مکانیسم رله ای را مورد بحث قرار داد، که می توانست ورودی متغیری را به خوبی دنبال کند. در دهه ۱۹۴۰ روشهای پاسخ فرکانسی (خصوصا روش نمودار بوده که توسط بوده ابداع شده) امکان طراحی سیستم های کنترل حلقه بسته خطی یی را فراهم کرد که شاخصهای عماکرد ر برآورده کی کردند. در دهه های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ در بسیاری از سیستم های کنترل برای کنترل فشار، دما، و غیره از کنترل کننده های PID دهه های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ در بسیاری از سیستم های کنترل برای کنترل فشار، دما، و غیره از کنترل کننده های PID وضع کردند، که قواعد تنظیم زیگر-نیکلس نام گرفتند. طی سالها آخر دهه ۱۹۴۰ تا سالهای اول دهه ۱۹۵۰، ایوانز روش مکان هندسی ریشه ها را بطور کامل مورد بررسی قرار داد. طی سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ تحقیقات گسترده ای در مورد کنترل بهینه سیستم های قطعی و اتفاقی، کنترل وقفی، و سیستم های کنترل یاد گیرنده صورت گرفته است. در دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ تحقیقات نظری کنترل مدرن حول کنترل مقاوم و مباحث مربوط به آن دور میزد است [۱].

۱-۳- کنترل غیر خطی

کنترل غیر خطی یک موضوع کامل همراه با انواعی از روش های قدرتمند با کاربردهای صنعتی می باشد. بنابراین طبیعی است که این سؤال مطرح شود، که چرا اخیراً طراحان و محققان بسیاری در محدودهٔ وسیعی مانند کنترل هوانوردی و فضانوردی، کنترل فرآیند، کنترل روبات و مهندسی پزشکی، برای توسعه و کاربرد کنترل غیرخطی از خود علاقه نشان داده اند. دلایل زیادی را می توان برای این علاقه برشمرد. از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- بهبود سیستم کنترل موجود : روش های کنترل خطی با فرض عملکرد در دامنهٔ کم معتبر می باشند. بنابراین هرگاه، دامنهٔ عملکرد وسیع باشد. کنترل خطی دارای عملکرد ضعیفی بوده یا اینکه ناپایدار می شود. در این حالت از کنترل کننده های غیرخطی برای بهبود سیستم کنترل استفاده می شود.
- آنالیز عوامل غیرخطی سخت : فرض دیگر در کنترل خطی این است که مدل سیستم قابل خطی شدن باشد. درحالیکه در سیستم های کنترل عوامل غیرخطی بسیاری وجود دارند که ذات گسسته شان اجازهٔ تقریب خطی را نمی دهد. از جمله این موارد می توان به اشباع، نواحی مرده و هیسترزیس اشاره کرد. اثرات این موارد را نمی توان از روشهای خطی استخراج کرد. بنابراین باید تکنیک های غیرخطی درنظرگرفته شوند.
- مواجه شدن با عدم قطعیت در مدل : در طراحی کنترل کننده های خطی، معمولاً لازم است فرض شود که پارامترهای مدل سیستم به گونهٔ قابل قبولی شناخته شده اند. اما، بسیاری از مسائل کنترل دارای عدم قطعیت هایی در پارامترهای مدل هستند. کنترل کننده های خطی بر پایهٔ مقادیر نامطمئن پار امترهای مدل، افت قابل ملاحظه ای از خود نشان می دهند درحالیکه کنترل کننده های غیرخطی می توانند عدم اطمینان مدل را کاهش دهند
- سادگی طراحی : طرح های کنترل غیرخطی می توانند ساده تر و قابل فهم تر از مشابه خطی شان باشند. این نتیجه از این حقیقت نشأ ت می گیرد که کنترل کننده های غیرخطی اغلب به طور عمیقی ریشه در فیزیک دستگاه دارند.

هزینه دلیل دیگر استفاده از روش های کنترل غیرخطی است. کنترل خطی ممکن است به حسگرها و محرک های با کیفیت بالا نیاز داشته باشند، درحالیکه کنترل کنندهٔ غیرخطی ممکن است اجازه دهد از اجزاء ارزان تر با مشخصه های غیرخطی استفاده شود [۲]. این نتیجه از این حقیقیت سرچشمه می گیرد که طراحی های کنترل کننده غیر خطی عموما ریشه عمیق در فیزیک دستگاه دارند.

دلایل دیگر برای کاربرد روش های کنترل غیر خطی وجود داشته باشد، بهینه سازی هزینه و عملکرد آن است. در کاربرد های صنعتی، توسعه روش های خطی برای کنترل ماشین های پیشرفته با عوامل غیر خطی قابل ملاحظه ممکن است منجر به گران شدن بی جهت و طولانی شدن زمان توسعه گردد، جایی که قانون کنترل تضمین کافی برای پایداری و عملکرد خوب نداشته و بسیار دشوار است که آن را برای کاربرد های مشابه اما مختلف انتقال داد. کنترل غیر خطی ممکن است نیاز به عملگر های با کیفیت بالا و حسگر های خاص داشته باشند که بتوانند رفتار خطی در دامنه مشخص عملیات از خود نشان دهند، در حالی که کنترل غیر خطی امکان کاربرد قطعات ارزنتر با مشخصات غیر خطی را می دهند. همانند عملکرد بهینه سازی، می توان به کنترل کننده های نوع بنگ-بنگ استناد کرد که قادرند پاسخ سریعی تولید کنند اما به طور ذاتی غیر خطی است.

بنابراین، مبحث کنترل غیر خطی قسمت مهمی از کنترل خودکار است. فراگرفتن روش های پایه ای تحلیل و طراحی کنترل غیر خطی می تواند به طور موثر توانایی مهندس کنترل را برای مواجهه با مسائل عملی کنترل بالا ببرد فهم عمیق تر از دنیای واقعی که به طور ذاتی غیر خطی است فراهم آورد.

۱-۴- رفتار سیستم های غیر خطی

سیستم های فیزیکی ذاتا غیر خطی اند. بنابراین تمام سیستم های کنترل در گستره معینی غیر خطی اند. سیستم های کنترل غیر خطی با معادلات دیفرانسیل غیر خطی می توانند بیان شوند. در حالی که اگر محدوده عملکرد سیستم کنترل کوچک باشد و اثرات غیر خطی موثر در آن هموار در نظر گرفته می شود، در این صورت این سیستم کنترل را می توان به صورت قابل قبولی به یک سیستم خطی شده تقریب زد که دینامیک آن با مجموعه ای از معادلات دیفرانسیل خطی توصیف می شود.

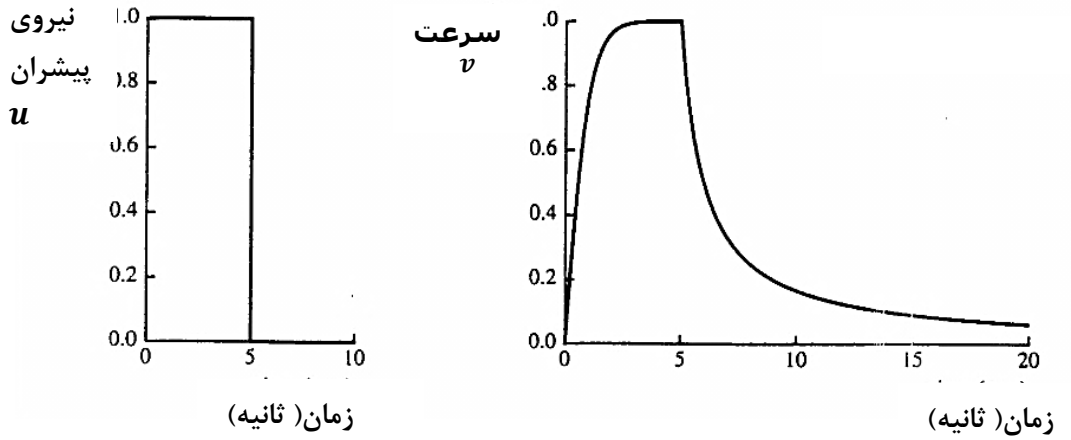
رفتار سیستم های غیر خطی نسبت به سیستم های خطی به مراتب پیچیده تر است. کمبود عوامل خطی و خاصیت برهم نهی سیستمهای غیر خطی نسبت به سیستم های خطی، به ورودی های خارجی پاسخ کاملا متفاوتی می دهند، همان طور که مثال زیر نشان می دهد.

به عنوان مثال مدل ساده شده ای از حرکت یک وسیله نقلیه زیرآبی را می توان به صورت زیر نوشت :

$$\dot{v} + |v|v = u$$

که در آن v سرعت وسیله نقلیه و u ورودی کنترل است (نیروی پیشران با پروانه تامین می شود). عمل غیر خطی $|v|v$ مربوط به کشش " قانون مربعی" است.

فرض کنید یک تابع پله ورودی پله واحد به پیشران u اعمال کنیم، و متعاقب آن پس از ۵ ثانیه یک تابع واحد منفی وارد می نماییم و پاسخ سیستم را در شکل می بینید. ملاحظه می کنیم که سیستم با ورودی پله واحد مثبت، در مقایسه با پله واحد منفی بعدی، به مراتب سریعتر جا می افتد. به طور شهودی این موضوع را می توان انعکاس این حقیقت تعبیر کرد که ضریب میرایی ظاهری $|v|$ در سرعت زیاد بزرگتر از سرعت های کم است.[۳]



شکل (۱-۱) پاسخ سیستم به پله واحد

۱-۵- تحلیل سیستم های غیر خطی

هدف این قسمت ارائه ابزار موجود برای کنترل سیستم های غیر خطی است .مطالعه این روش های تحلیل غیر خطی به چند دلیل مهم است. اول اینکه، معمولا تحلیل نظری ارزانترین راه درک مشخصات یک سیستم است. دوم اینکه، گرچه شبیه سازی در کنترل غیر خطی بسیار مهم است، اما بایستی از لحاظ نظری جهت گرفته باشد.شبیه سازی چشم بسته سیستم های غیر خطی ممکن است به نتایج محدود و یا گمراه کننده منتهی شود. این موضوع، بخصوص باآگاهی از اینکه سیستم های غیرخطی بسته به شرایط اولیه و ورودی ها قادرند رفتاری بسیار غنی از خود نشان دهند، درست است. سوم، طراحی کنترل کننده غیر خطی همیشه بر اساس روش های تحلیل است. از آنجایی که روش های طراحی معمولا مبتنی بر روش های تحلیل است، تقریبا کسب مهارت در روشهای طراحی بدون مطالعه اولیه ابزار تحلیل غیر ممکن است.

نباید تعجب آور باشد که تاکنون هیچ روشی کلی برای تحلیل تمام سیستم های کنترل غیر خطی ارائه نشده است. در کنترل خطی، می توان یک سیستم را در حوزه زمان یا فرکانس تحلیل کرد. اما در سیستم های غیر خطی، هیچ یک از این رهیافتهای استاندارد را نمی توان به کار گرفت، زیرا حل معادلات غیر خطی در حالت کلی ممکن نیست و تبدیلات حوزه فرکانس قابل اعمال نیستند. در عین حال تحلیل سیستم های کنترل غیر خطی مشکل است، فعالیتهای جدی برای توسعه ابزار مناسب نظری آنها صورت گرفته پذیرفته است. روشهای بسیار در تحلیل سیستم های کنترل وجود دارد [۴].

۱-۶- نظریه لیاپانوف

نظریه اساسی شامل دو روش است که توسط لیاپانوف معرفی شده است، روش غیر مستقیم و روش مستقیم وجود دارد : روش مستقیم، یا روش خطی شده بیان می کند که خواص پایداری یک سیستم غیر خطی در نزدیک یک نقطه تعادل اصولا همانند تقریب خطی شده آن است. این روش به عنوان یک توجیه نظری برای استفاده کنترل خطی در سیستم های فیزیکی است که همیشه به طور ذاتی غیر خطی هستند. روش مستقیم یک روش قوی برای تحلیل سیستم های غیر خطی است، و لذا در حقیقت اغلب منظور از روش تحلیل لیاپانوف همان روش مستقیم است. روش مستقیم یک مفهوم عمومیت داده شده مفهوم انرژی مربوط به یک سیستم مکانیکی است. حرکت یک سیستم مکانیکی پایدار است اگر که مجموع انرژی مکانیکی آن در تمام زمان ها کاهش یابد. برای استفاده ار روش مستقیم در تحلیل پایداری یک سیستم غیر خطی، ایده اصلی ایجاد یک تابع شبه انرژی اسکالر (تابع لیاپانوف) در سیستم و مشاهده اینکه آیا کاهش می یابد. قابلیت این روش در عمومی بودن آن است و برای همه سیستم های کنترلی قابل استفاده می باشد، چه سیستم متغیر با زمان باشد، چه نامتغیر با زمان، چه با ابعاد محدود و چه با ابعاد بینهایت باشد.محدودیت این روش در این حقیقت نهفته است که اغلب پیدا کردن یک تابع لیاپانوف در یک سیستم مفروض کار مشکلی است.

اگر چه روش مستقیم لیاپانوف در اصل یک روش تحلیل پایداری است، می توان آن را در دیگر مسائل کنترل غیر نیز استفاده کرد. یک کاربرد مهم، طراحی کنترل کننده های غیر خطی نظیر کنترلر مد لغزشی می باشد. ایده اصلی کنترل کننده های غیر خطی این است که یک تابع مثبت اسکالر از حالت های سیستم فرمول بندی و سپس قانونی

کنترلی انتخاب می کنیم که آن را تقلیل دهد، در این صورت پایداری سیستم کنترلی درا این حالت تضمین شده است. چنینی روش طراحی در حل بسیار از مسائل پیچیده طراحی به کار گرفته شده است. برای مثال کاربر زیادی در روباتیک و کنترل تطبیقی دارد. روش مستقیم را می توان در تخمین عملکرد سیستم کنترل و مطالعه مقاوم بودن آن استفاده کرد [۵].

۱-۷- سیستم و کنترل کننده های مرتبه کسری

در سالهای اخر، سیستم های مرتبه کسری مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است و موفقیت های گسترده ای در مدل سازی پدیده های فیزیکی و ترکیب با کنترل کننده های قوی داشته است. در تئوری کنترل بسیاری از مطالعاتی که با موفقیت بر روی طراحی روش های مرتبه صحیح انجام شده، با مرتبه غیر صحیح نیز مدلسازی شده اند. مشتق مرتبه کسری آغاز کار خود را طی نامه ای که بین هوپیتال[۱] به لایبنیز[۲] در ۱۶۹۵ را آغاز کرد. موضوع مورد بحث قرار گرفته در این نامه این بود، که اگر مرتبه مشق مرتبه عددی غیر صحیح باشد، چه اتفاقی خواهد افتاد. اگرچه استفاده از مرتبه های غیر صحیح در تئوری سیستم یک مفهوم جدید نمی باشد. در دو دهه گذشته شاهد بسیاری از برنامه های کاربردی موفق در زمینه های مشتق و انتگرال مرتبه کسری بوده ایم.با اعمال اپراتور های مرتبه کسری در ساختار کنترلر ها، چم انداز جدیدی در حوزه سیستم های کنترل اتوماتیک گشوده شد [۶]. روش های بسیاری برای تئوری کنترل بازخورد در چارچوب کنترل مرتبه کسری فرموله شده است[۷]. با وجود امکان تطبیق تکنیک های مرتبه صحیح برای صورت مرتبه کسری، این واقعیت وجود دارد نمایش ریاضی برخی فرایند ها، به عنوان مثال ویسکو الاستیک، الکتروشیمی، مغناطیس چند منظوره، رسانایی غشایی در زیست شناسی، جریان گرما، خازن های کسری و خطوط انتقال اتلاف شامل مشتق مرتبه کسری هستند، و نشان می دهند که پردازش مناسب اطلاعات موجود در مرتبه کسری اجتناب ناپذیر است[۸].

الدهام و اسپینر[۹] و پودلبنبی[۱۰] بر روی قسمت های اصلی محاسبات مرتبه کسری و معادلات دیفرانسیل مرتبه کسری و داس[۸] بر روی دیدگاه مهندسی این موضوع بحث و بررسی کرد. بحث های انجام گرفته تاکنون در مقوله محاسبات مرتبه کسری در کنترل اتوماتیک بسیار گسترده هستند، که مواردی از آن عبارتند از، سیستم های مرتبه کسری در چارچوب کنترل بازخورد[۱۱]، کنترلر PID مرتبه کسری که در [۱۲] ارائه ده است، مسائل مربوط به انتخاب پارامتر با استفاده از قوانین با الهام از روش زیگلر نیکولز است که در [۱۳] مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم و کنترلر مد لغزشی مرتبه کسری در [۱۴] مورد برسی قرار گرفته است. از سوی دیگر، هوانگ و لین [۱۵]، لین و کونگ، و لین و چن نظریه مجموعه فازی به منظور رسیدگی به مسئله لرزش را اعمال کردند. طرح کنترل فازی حالت لغزشی می تواند لرزش را هموار کرده، اما این مسئله هم پاسخ سیستم را کند خواهد کرد.

۱-۸- اهداف پژوهش

در این پژوهش بحث و بررسی بر روی نتایج بدیت آمده ازطراحی کنترلر مد لغزشی با مرتبه غیر صحیح برای

---

[۱] -hopital

[۲] -leibniz

سیستم های با مرتبه غیر صحیح و صحیح می باشد قصد داریم، با استفاده از بهینه سازی چند هدفه الگوریتم ژنتیک در نرم افزار MATLAB با تمرکز بر روی پارامتر هایی که اسا مد لغزشی را تعریف می کنند، که به عنوان متغیر های بهینه سازی ما در فرایند بهینه سازی مورد توجه قرار خواهند گرفت، بهینه سازی را انجام دهیم.

برای مقابله با عدم قطعیت های ساختاری(عدم قطعیت در مدل) و غیر ساختاری (عدم دقت در مرتبه سیستم) در مدل کنترلی در این پژوهش، از کنترلر مد لغزشی استفاده شده است. کنترل مد لغزشی، یک رویکرد را به منظور طراحی یک سیستم کنترلی که نسبت به تغییرات پارامتر و اختلالات خارجی غیر حساس بوده را فراهم می کند. اساسا کنترل مد لغزشی با استفاده از عمل کنترل ناپیوسته برای راندن مسیر سیستم به سمت ابرصفحه خاص در فضای حالت و سپس مسیر سیستم، به منظور لغزش بر روی ابر صفحه خاص تا رسیدن به فضای حالت اعمال می شود.

در این پژوهش سطح لغزش و قانون کنترل معادل با اعمال اپراتور مشتق مرتبه غیر صحیح $D^{\beta} = \frac{D^{\beta}}{Dt^{\beta}}$ که β اعداد حقیقی خواهد بود اصلاح خواهد شد. اپراتور های مرتبه غیر صحیح و ارتباط آن با سیستم کنترلی به طور کامل با تمام حقایق اولیه بررسی شده است[۱۶]. با جاگزین کردن عملگر مشتق مرتبه کسری به جای عملگر مشتق مرتبه صحیح، در ساختار کنترلر مد لغزشی، سیستم عملکرد بهتری از خود نشان خواهد داد، که در فصل ۴ درباره آن به طور کامل بحث و بررسی خواهد شد.

در کنترل مد لغزشی زمان حالت ضربه سیستم وقتی به سطح سوییچینگ رسید بر روی سرعت سیستم و رفتار معقول سیستم تاثیر خواهد گذاشت. یکی از مزیت های کنترل مد لغزشی این است که هنگامی که وارد حالت لغزشی می شود، نسبت به حالات عدم قطعیت پارامتر ها یا اختلالات خارجی غیر حساس می شود . اگر زمان ضربه کاهش پیدا کند، زمان سیستم با رفتار دینامیکی خواسته شده می تواند کاهش پیدا کند و عدم قطعیت ها و اختلالات سیستم می تواند ضعیف شود. علاوه بر این لرزش در سطح سوییچینگ بر روی ثبات سیستم کنترل تاثیر می گذارد، بنابراین کاهش زمان ضربه و کاهش لرزش پیش نیاز مهم در طراحی حالت لغزشی می باشد.

از این رو بیشتر تمرکز و تلاش بر روی به حداقل رساندن زمان ضربه و پدیده لرزش و در نتیجه کاهش خطای ردیابی و نیروی کنترلی سیستم است[۱۷]. به منظور کمینه کردن زمان ضربه و یانگ و همکاران از یک فیدبگ با گین بالا برای سرعت بخشیدن به پاسخ گذرا نسبت به ابر صفحه سوئیچینگ استفاده کرده اند. اما این روش باعث ایجاد یک لرزش زیاد در طول ابر صفحه سوئیچینگ شد که در سیستمهای فیزیکی مورد مناسب نمی باشد. برای حذف پدیده لرزش، اسلوتین[۳] [۳] , یانگ[۴] و چن [۵] یک لایه مرزی یا رویکرد بخش لغزش را برای مقابله با آن استفاده کردند. با این حال یک لایه مرزی متغیر با زمان دارای عرض مشخص در سیستم های پیچیده پیاده سازی آن با دشواری روبرو واهد بود. بارتولینی [۱۸]و همکاران با پیشنهاد وارد کردن یک انتگرال به سیستم به طوری که لرزش را هموار کرده و لی این کار پاسخ سیستم را کند می کند.

به منظور کاهش خطای ردیابی و نیروی کنترلی سیستم و عدم قطعیت ها در مدل، در نظر داریم با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه به منظور انتخاب مناسب پارامتر های اساس کنترلر مد لغزشی و مرتبه مشتق غیر صحیح به طوری که سیستم کنترلی به طور همزمان بتواند خطای ردیابی و نیروی کنترلی را با اعمال کنترلر مد لغزشی با مرتبه

[۳] -slotin

[۴] -young

[۵] -chen

غیر صحیح کاهش دهد، بررسی قرار می دهیم.

الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم جست و جو براساس الگوی تکامل نسل ها در طبیعت است که با اعمال عملگر های ژنتیکی و و ارزیابی هر رشته از پارامترهای صفحه لغزش در ساختار کنترلر مد لغزند ه بر اساس مقدار برازندگی آن با توجه به تابع هدف باعث انتخاب پارامتر های مطلوب شده و عملکر سیستم کنترلی را بهبود خواهد بخشید . رسیدن سریع به ابر صفحه سوییچینگ در طول فاز رسیدن و لغزش به مبدا با کمترین مقدار پدیده لغزش بسیار معقول خواهد بود.

فصل ۲ کنترل مد لغزشی