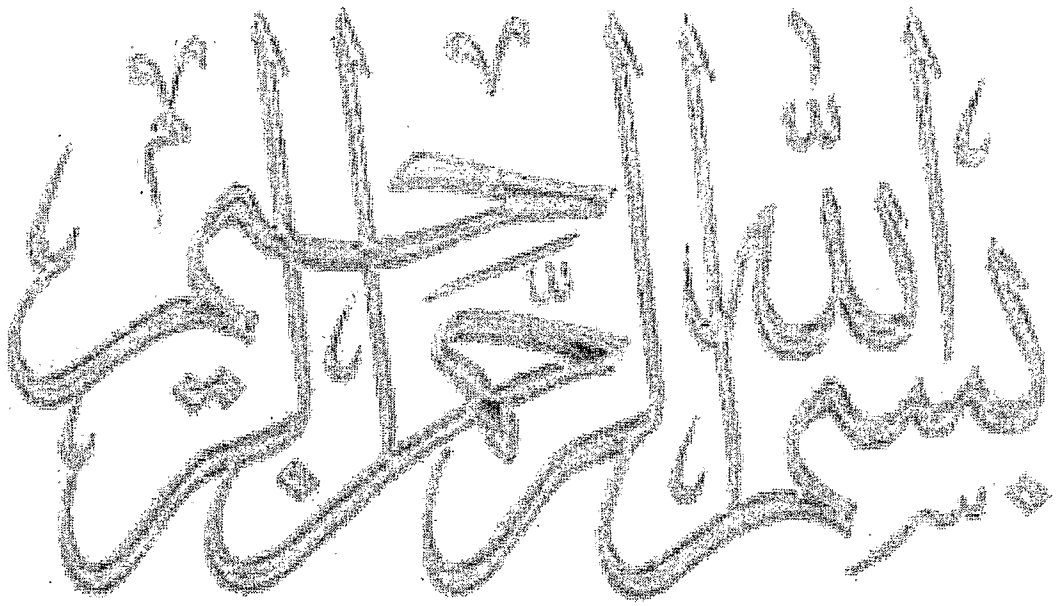


١٤١٤٢٨

دانشکده فنی
گروه مکانیک
گرایش طراحی کاربردی

طراحی پاراتویی کنترلر فازی مقاوم برای سیستمهایی با پارامترهای نا معین

از:
پیمان پوراسماعیل جانباز فومنی

اساتید راهنما:
دکتر نادر نریمان زاده
دکتر احمد باقری

۱۳۸۹/۷/ ۳

شهریور۱۳۸۸

۱۴۱۴۲۸

تشکرو قدردانی

اکنون که اتمام این پایان نامه با موفقیت انجام پذیرفته، بر خود می دانم که از زحمات و راهنمایی های بی دریغ استاد ارجمندم جناب دکتر نریمان زاده تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از آقای دکتر باقری به خاطر حمایت هایشان تشکر می کنم.

از دوستان عزیزم مهندس علی جمالی ومهندس امیر حاجیلو که همیشه همراه و مشوقم بودند و مهندس خواجوند که از راهنمایی های ایشان بهره برده ام قدردانی می نمایم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب ..... پ
فهرست جداول ..... ج
فهرست اشکال ..... چ
چکیده فارسی ..... خ
چکیده انگلیسی ..... د
فصل اول:پیشگفتار ۱
۱-۱-مقدمه ۲
۱-۲-کنترل ۳
۱-۳-بهینه سازی و الگوریتم های تکاملی ۴
۱-۴- کنترل فازی ۴
۱-۵- سیستمهای نامعین ۶
۱-۶- کنترل فازی مقاوم ۶
۱-۷- ساختار کلی پایان نامه ۷
فصل دوم:کنترل فازی و دینامیک آونگ وارون ۹
۲-۱-سیستم آونگ وارون ۱۰
۲-۱-۱-توصیف فیزیکی آونگ وارون ۱۰
۲-۱-۲-دینامیک آونگ وارون ۱۲
۲-۲-کنترل فازی ۱۴
۲-۲-۱-تاریخچه ۱۵
۲-۲-۲-منطق فازی چیست ۱۵
۲-۲-۳-زمینه های کاربرد منطق فازی ۱۷
۲-۲-۴-انواع سیستمهای فازی ۱۸
۲-۲-۵-اجزا سیستمهای فازی ۱۸
۲-۳-مجموعه های فازی و عملیات پایه روی آنها ۱۹
۲-۳-۱-مجموعه های فازی ۲۰
۲-۳-۲-متغیر های زبانی ۲۰
۲-۳-۳-انواع مجموعه های فازی ۲۰
۲-۳-۴-عملیات پایه روی مجموعه های فازی ۲۱
۲-۴-روابط فازی ۲۲
۲-۵-پایگاه قواعد فازی ۲۲
۲-۵-۱-توصیف پایگاه قواعد فازی ۲۲
۲-۶-موتور استنتاج فازی ۲۳
۲-۶-۱-فازی ساز و غیر فازی ساز ۲۴
۲-۷-نمایش گرافیکی عملکرد سیستم فازی ۲۶
۲-۸-کنترل فازی ۲۸
۲-۸-۱-انواع کنترل کننده های فازی ۳۰
۲-۸-۲-طراحی کنترل فازی ۳۱

۲-۸-۳-استفاده از الگوریتم ژنتیک در طراحی کنترل کننده های فازی ۳۳
۲-۹-نتیجه ۳۴
فصل سوم : الگوریتم های تکاملی و بهینه سازی چندهدفی ۳۵
۳-۱- مقدمه ۳۶
۳-۲- الگوی ریاضی استاندارد مسائل بهینه سازی ۳۶
۳-۳- روش های بهینه یابی ۳۷
۳-۳-۱- روش های بر پایه ریاضیات ۳۹
۳-۳-۲- روش های تکراری ۳۹
۳-۳-۳- روش های تصادفی ۳۹
۳-۴- الگوریتم های تکاملی ۴۰
۳-۵- الگوریتم ژنتیک ۴۱
۳-۵-۱- مقدمه ۴۱
۳-۵-۲- ساختار عمومی الگوریتم ژنتیک سری ۴۳
۳-۵-۳- عملگرهای ژنتیکی ۴۵
۳-۵-۴- مکانیزم انتخاب بر اساس مدل چرخ رولت ۴۶
۳-۵-۵- کاربرد الگوریتم ژنتیک در طراحی کنترل فازی ۴۷
۳-۶- بهینه سازی چند هدفی ۴۷
۳-۶-۱- مقدمه ۴۷
۳-۶-۲- بهینه یابی چند تابع هدفی ۴۸
۳-۶-۳- بردار هدف ایده آل ۴۸
۳-۶-۴- تعریف برتری(Pareto Dominance) ۴۹
۳-۶-۵-تعریف بهینگی ۴۹
۳-۶-۶- تعریف مجموعه Pareto ۴۹
۳-۶-۷- تعریف جبهه پارتو ۵۰
۳-۶-۸- روش های حل مسائل بهینه سازی چندهدفی ۵۰
۳-۶-۸-۱- روش ضرایب وزنی توابع توابع هدف ۵۱
۳-۶-۸-۲- روش معیار سراسری ۵۱
۳-۶-۸-۳- روش Min Max ۵۱
۳-۶-۹- مرتب سازی براساس معیار برتری (NSGA II) ۵۲
۳-۶-۹-۱- زیربرنامه FNDF (Find Non Dominated Front ۵۲
۳-۶-۹-۲- زیر برنامه FNDS (Fast Non Dominated Sort ۵۳
۳-۶-۹-۳- زیر برنامه CDA (Crowding Distance Assignment) ۵۳
۳-۶-۹-۴- عملگر Comparison Crowded ۵۵
۳-۶-۹-۵- قسمت اصلی الگوریتم ۵۵
۳-۶-۱۰- اشکالات الگوریتم II- NSGA ۵۷
۳-۶-۱۰-۱- اشکالات زیر برنامه CDA ۵۷
۳-۶-۱۰-۲- اشکالات برنامه اصلی ۵۸
۳-۶-۱۰-۳- الگوریتم جایگزین CDA ۵۸
۳-۷-نتیجه گیری ۶۱

فصل چهارم:تحلیل احتمالاتی

۴-۱-مقدمه ۶۳
۴-۲-نامعینی احتمالاتی ۶۴
۴-۲-۱-توزیع احتمالاتی و تابع چگالی احتمالی ۶۵
۴-۲-۲-تابع توزیع جمعیت ۶۶
۴-۳-نمایش سیستم‌های نامعین ۶۷
۴-۴-تحلیل احتمالاتی ۶۷
۴-۴-۱متغیرهای تصادفی ۶۸
۴-۴-۲فرآیندهای تصادفی ۷۱
۴-۵-نمونه برداری و شبیه سازی مونت‌کارلو ۷۳
۴-۵-۱-روش نمونه برداری همرسلی ۷۷
۴-۶-میانگین و واریانس ۷۹
۴-۷-بهینه سازی مقاوم ۷۹

فصل پنجم : طراحی بهینه کنترلرهای فازی و غیرفازی

۵-۱- مقدمه ۸۲
۵-۲- طراحی بهینه کنترل کننده فازی برای سیستم آونگ وارون در حالت معین ۸۲
۵-۲-۱ –انتخاب توابع هدف ۸۲
۵-۲-۲-ساختار کنترل کننده فازی در کنترل آونگ وارون ۸۴
۵-۲-۳-انتخاب متغیر های طراحی ۸۶
۵-۲-۴-سیستم fuzzy 335 ..... ۸۷
۵-۳-طراحی بهینه کنترل کننده فازی مقاوم در حالت نا معین ۹۵
۵-۳-۱-انتخاب توابع هدف ۹۵
۵-۳-۲-نقاط پارتو ۹۵
۵-۳-۳- انتخاب نقطه بهینه طراحی ۱۰۷
۵-۳-۴- توانایی پایداری کنترلر به ازای موقعیت اولیه متفاوت ۱۱۱
۵-۳-۵- مقایسه نتایج معین با نامعین ۱۱۴
فصل ششم : بحث و نتیجه گیری ۱۱۸
پیوست ۱۱۹
مراجع ۱۲۲

فهرست جداول

عنوان | صفحه

جدول ۲-۱- مقادیر پارامترهای فیزیکی آونگ وارون ۱۴
جدول ۲-۲- جدول قواعد فازی برای آونگ وارون ۳۱
جدول ۳-۱- الگوریتم زیر برنامه FNDF ۵۲
جدول ۳-۲- الگوریتم زیر برنامه FNDS ۵۳
جدول۳-۳- الگورتم زیر برنامه CDA ۵۴
جدول ۳-۴- الگوریتم برنامه اصلیNSGA II ۵۶
جدول ۳-۵-زیر برنامه جایگزین CDA ۵۹
جدول ۳-۶-زیر برنامه جایگزین CDA (حذف بردارهایی با متغیرهای طراحی و مقدار تابع هدف یکسان). ۶۰
جدول ۵-۱-متغیرهای سیستم کنترل آونگ وارون و محدوده آن ها ۸۵
جدول ۵-۲-مشخصات و نوع عملگرهای کنترل فازی ۸۶
جدول ۵-۳-محدوده متغیر های کنترل فازی ۸۷
جدول ۵-۴-a مقادیر پارامترهای توابع عضویت در جبهه پارتو کنترل فازی 335 ..... ۹۰
جدول ۵-۴-b مقادیر پارامتهای قواعد فازی در جبهه پارتو کنترل فازی 335 و مقادیر توابع هدف ۹۰
جدول ۵-۵- جدول قواعد فازی کنترل مکان برای نقطه C جبهه پارتو کنترلر فازی 335 ..... ۹۳
جدول ۵-۶- جدول قواعد فازی کنترل زاویه برای نقطه C جبهه پارتو کنترل فازی 335 ..... ۹۳
جدول ۵-۷ مؤلفه‌های مهم الگوریتم ژنتیک در تحلیل نامعین ۹۷
جدول(۵-۸-a) مقدار پارامترهای توابع عضویت کنترلر فازی(حالت نا معین) ۹۸
جدول(۵-۸-b) مقدار پارامترهای توابع عضویت کنترلر فازی(حالت نا معین) ۹۹
جدول(۵-۹) مقادیر توابع هدف برای ۱۰۰۰۰ نمونه ۱۰۴
جدول ۵-۱۰- جدول قواعد فازی کنترل مکان برای نقطه ۱۸ جبهه پارتو کنترلر فازی 335 ..... ۱۱۱
جدول ۵-۱۱- جدول قواعد فازی کنترل زاویه برای نقطه ۱۸ جبهه پارتو کنترل فازی 335 ..... ۱۱۱
جدول(۵-۱۲) مقادیر توابع هدف ناشی از اعمال بردارهای طراحی حالت معین در سیستم نامعین ۱۱۴
جدول (۵-۱۳) مقادیر توابع هدف ۱۱۶

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

شکل ۱-۱- ساختار کلی کنترل حلقه بسته ۳
شکل ۱-۲- ساختار کلی کنترل کننده فازی ۵
شکل ۱-۳- نمای شماتیک آونگ وارون ۸
شکل ۲-۱-نمای شماتیک حلقه بسته از سیستم آونگ وارون آزمایشگاه ۱۱
شکل ۲-۲- اجزاء سیستم آونگ وارون (مدل آزمایشگاهی) ۱۱
شکل ۲-۳- دیاگرام آزاد گاری و آونگ ۱۲
شکل ۲-۴- تابع تعلق برای زیاد و کم- ۱۷
شکل ۲-۵- سیستم فازی (کنترلر فازی) ۱۹
شکل ۲-۶- نمایش کنترلر فازی در یک سیستم کنترل حلقه بسته ۱۹
شکل ۲-۷- اشکال هندسی چند نمونه از توابع عضویت ۲۱
شکل ۲-۸- معادلات ریاضی توابع عضویت مثلثی ۲۱
شکل ۲-۹- معادلات ریاضی توابع عضویت گوسین ۲۱
شکل ۲-۱۰- نمایش گرافیکی غیرفازی ساز مرکز ثقل ۲۶
شکل ۲-۱۱- نمایش گرافیکی عملیات انجام شده درون کنترل فازی برای کنترل آونگ وارون ۲۷
شکل ۲-۱۲- نمایش کنترل آونگ وارون توسط کنترل کننده انسانی ۲۸
شکل ۲-۱۳- کنترل فازی آونگ وارون ۲۹
شکل ۲-۱۴- اجزای کنترل کننده فازی در حلقه بسته ۳۰
شکل ۲-۱۵- سه نوع روش معمول در انتخاب پارامترهای طراحی توابع عضویت ۳۳
شکل ۳-۱- عمل پیوند روی دو کروموزوم با یک نقطه برش ۴۵
شکل ۳-۲- عمل جهش یک روی یک کروموزوم ۴۶
شکل ۳-۳- الگوریتم ساده ژنتیکی ۴۶
شکل ۳-۴- منطقه مجاز طراحی (قسمت هاشور خورده) ۴۹
شکل ۳-۵- مجموعه نقاط بهینه Pareto Front ۵۰
شکل۳-۶- نحوه محاسبه Crowding Distance ۵۴
شکل ۳-۷-نمای کلی از عملکرد II- NSGA ۵۶
شکل ۴-۱- نامعینی کرداندار و نامعینی احتمالاتی- ۶۵
شکل۴-۲ احتمال بدست‌آمده با استفاده از مساحت زیر تابع ۶۵
شکل۴-۳ منحنی PDF و CDF ۶۶
شکل۴-۴- سیستم جرم- فنر- دمپر ۶۸
شکل۴-۵- میزان فراوانی ماکزیمم فراجهش ۶۹
شکل ۴-۶- منحنی CDF ماکزیمم فراجهش- ۶۹
شکل ۴-۷ منحنی تابع توزیع احتمالاتی و نواحی شکست ۷۱
شکل ۴-۸- پاسخ احتمالاتی سیستم جرم- فنر- دمپر ۷۲
شکل ۴-۹- نمایی از فرآیند تصادفی ۷۳
شکل۴-۱۰- فرایند شبیه سازی به روش مونت کارلو ۷۴

شکل ۴-۱۱- اعداد تصادفی تولید شده بین صفر و یک برای ۱۰۰ و ۵۰۰ نمونه ۷۶
شکل ۴-۱۲-الف- نقاط و نمونه‌های تولید شده توسط روش مونت‌کارلو ۷۸
شکل ۴-۱۲-ب -نقاط و نمونه‌های تولید شده توسط روش همرسلی ۷۸
شکل ۵-۱- ساختار چندمرحله ای کنترلر فازی ۸۴
شکل۵-۲-ساختار سری کنترلر فازی برای سیستم آونگ وارون ۸۵
شکل ۵-۳-نمایش کنترل فازی نوع A (fuzzy335) ۸۷
شکل ۵-۴-نمایش توابع عضویت در ورودی کنترل فازی نوع 335 ..... ۸۸
شکل ۵-۵-نمایش توابع عضویت در خروجی کنترل فازی نوع 335 ..... ۸۸
شکل ۵-۶-نمایش کدگذاری کروموزوم در کنترل فازی 335 ..... ۸۹
نمودار ۵-۷- نمودار پارتو کنترل فازی 335 ..... ۹۱
نمودار ۵-۸-a-مقایسه مکان گاری در پاسخ پله ۴ نقطه از جبهه پارتو کنترل فازی 335 (نتایج شبیه سازی) ۹۴
نمودار ۵-۸-b-مقایسه زاویه آونگ در پاسخ پله ۴ نقطه از جبهه پارتو کنترل فازی 335 (نتایج شبیه سازی) ۹۴
نمودار ۵-۸-c-مقایسه نیروی کنترلی در پاسخ پله ۴ نقطه از جبهه پارتو کنترل فازی 335 (نتایج شبیه سازی ۹۵
شکل ۵-۹ شماتیک تابع چگالی احتمال گوسی ۹۶
نمودار(۵-۱۰-a)پارتو CF1-CF3 ..... ۱۰۰
نمودار پارتو(۵-۱۰-b) CF2-CF4 ..... ۱۰۰
نمودار(۵-۱۰-c) پارتو CF1-CF2 ..... ۱۰۱
نمودار(۵-۱۰-e) پارتو CF1-CF4 ..... ۱۰۱
نمودار(۵-۱۰-d) پارتو CF2-CF3 ..... ۱۰۲
نمودار(۵-۱۰-f) پارتو cf3-cf4 ..... ۱۰۲
نمودار(۵-۱۱-a) تابع هدف cf1- ۱۰۵
نمودار(۵-۱۱-b) تابع هدف cf2 ..... ۱۰۵
نمودار(۵-۱۱-c) تابع هدف cf3 ..... ۱۰۶
نمودا(۵-۱۱-d) تابع هدف cf4 ..... ۱۰۶
نمودار(۵-۱۲-a) پاسخ پله پارتوی شماره ۱۰ ..... ۱۰۸
نمودار(۵-۱۲-b) پاسخ پله پارتوی شماره ۱۸ ..... ۱۰۸
نمودار(۵-۱۲-c) پاسخ پله پارتوی شماره۱۶ ..... ۱۰۹
نمودار (۵-۱۳) توانایی پایداری پارتوی ۱۸ به ازای موقعیت اولیه مکانی x=0.05 m و θ=0 ..... ۱۱۲
نمودار(۵-۱۴) توانایی پایداری پارتوی ۱۸ به ازای x=0.05 m و θ=5 deg ۱۱۳
نمودار (۵-۱۵) توانایی پایداری پارتوی ۱۸ به ازای x=0.3 m و θ=5 deg ۱۱۳
شکل(۵-۱۶-a) مقایسه توابع هدف cf1-cf3 ..... ۱۱۵
شکل(۵-۱۶-b) مقایسه توابع هدف cf2-cf4 ..... ۱۱۵
نمودار(۵-۱۷)مقایسه نقاط پارتو در حالت معین و نا معین ۱۱۷

چکیده فارسی

طراحی پارتویی کنترلر فازی مقاوم برای سیستمهایی با پارامترهای نا معین

پیمان پوراسماعیل جانباز

سیستم مورد بررسی در این پایان نامه مدل آونگ وارون می باشد .در این سیستم جرم گاری و جرم لینک به عنوان نا معینی های سیستم در نظر گرفته می شوند. برای شبیه سازی نا معینی های سیستم از روش شبیه سازی مونت کارلو استفاده می شود. در این پروژه میانگین و واریانس میزان عملکرد و سیگنال کنترل به عنوان ۴ توابع هدف مد نظر میباشند که باید بطور همزمان بهینه شوند.همچنین کنترلر فازی باید به گونه ای طراحی شود که توانایی پایدار نگه داشتن آونگ به ازای نامعینی های مورد نظر و نیز شرایط اولیه متفاوت زاویه آونگ و موقعیت مکانی گاری را دارا باشد.. همچنین از الگوریتم ژنتیک برای طراحی بهینه پارتویی کنترلر فازی، استفاده شده است. در این راه، توابع هدف به صورت انتگرال وزنی زمانی خطای عملکرد و خطای نیروی کنترلی انتخاب شده و از الگوریتم اصلاح شده NSGA-II برای یافتن کنترلرهای بهینه استفاده شده است. نهایتاً منحنی های پارتو ارائه می شوند که دسته نقاط بهینه غیر برتر را نمایش می دهند.. در حالت کلی می توان با مصالحه روی یک تابع هدف، نقاطی را به عنوان جواب های مناسب انتخاب نمود.

کلید واژه: آونگ وارون- کنترل فازی- الگوریتم ژنتیک- بهینه سازی چندهدفی - مقاوم- مونت کارلو

Abstract

Optimum Design of Robust Fuzzy Controller for Systems with uncertain parametters

Peyman pouresmaeil janbaz

An inverted pendulum model with the masses of cart and link as the uncertainties of the system is considered in this thesis.the mounte carlo simulation method is used for simulating the uncertainties.The average and variance of the operation scale and control signal are considered as the four cost functions which should be optimized simulanneously.
The fuzzy controller is designed in such a way that it could stabilize the pendulum for mentioned uncertainties and also various initial angle of pendulum and initial displacement of the cart.
The Genetic Algorithm is applied to pareto optimum design of the fuzzy controller.In this regard ,cost functions are selected in terms of time –weighted integral of the operation error and control force error and the modified NSGA-II algorithm is used to achieve the optimum controllers.Finally, pareto curves are given which show the set of non-prevalent optimum points.In general one can select points as appropriate solution by compromising on one of the cost functions.

Keywords: Fuzzy controller; Genetic algorithm; Inverted Pendulum; Multi-objective optimization; Pareto; Robust;Mounte carlo

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

در سال های اخیر مهندسی کنترل اهمیت خاصی در میان رشته های دیگر مهندسی کسب کرده و در پیشرفت علوم و مهندسی نقشی حیاتی داشته است. کنترل علاوه بر نقش بسیار مهمی که در سیستم های فضا پیما، هدایت موشک، روبات ها و سیستم های مشابه داشته است، بخشی مهم و ناگسستنی از فرآیندهای صنعتی امروزی است [۱].

با افزایش پیچیدگی های فرآیند های صنعتی، بدست آوردن مدل های ریاضی برای طراحی کنترل کننده مناسب مشکل می شود. کنترل کننده های منطق فازی[1] که جزء سیستم های کنترل هوشمند محسوب می شوند، به علت توانایی شان در حل مسائل کنترل غیر خطی و عدم نیاز به مدل دقیق سیستم، کاربرد های بسیار موفقی در صنعت داشته اند [۲و۳].

همچنینن طراحی مناسب کنترل کننده ها نقش مهمی در کارآیی و بازدهی آنها دارد. اما در دنیای فرا صنعتی امروز مفهوم طراحی تغییر کرده است و طراحان نه به دنبال طرحی مناسب، بلکه به دنبال بهترین طرح هستند که اصطلاحا بهینه یابی[2] نامیده می شود [۴]. طراحی بهینه کنترل کننده ها به منظور دست یابی به سیستم هایی با عملکرد بسیار بالا، از جمله کاربردهای الگوریتم های تکاملی بویژه الگوریتم ژنتیک[3] می باشد. نمونه ای از این طراحی های بهینه را می توان در مرجع [۴] یافت. مشخصه های مهم مورد نظر ما که باید در فرآیند بهینه یابی مینیمم شوند در قالب توابع هدف بیان می گردند و به کمک الگوریتم ژنتیک مقادیر اکسترمم آنها بدست می آیند [۵]. در راستای طراحی کنترلر برای سیستمهای معین، تلاش هایی نیز برای طراحی کنترلر برای سیستمهای نامعین نیز صورت گرفته است. تحقیقات امروزه نشان می دهند، که اکثر سیستمهای فیزیکی و دینامیکی مورد مطالعه، معین نبوده و می توانند از لحاظ پارامتری و یا بطور کل از نظر ساختاری نامعین باشند. بنابراین طراحی کنترلر برای اینگونه سیستم ها باید بگونه ای باشد که توانایی ایجاد پایداری و عملکرد مطلوب در حضور ناپایداری ها را دارا باشد و به آنها سیستم های کنترل مقاوم[4] گفته می شود. روشهای بسیاری جهت طراحی این نوع کنترلرها در گذشته ارائه شده است که از لحاظ محاسباتی و عملکرد بسیار پیچیده می باشند. هدف از این پایان نامه ارائه روشی جهت طراحی بهینهٔ کنترل مقاوم برای سیستم هایی با نامعین احتمالاتی می باشد.

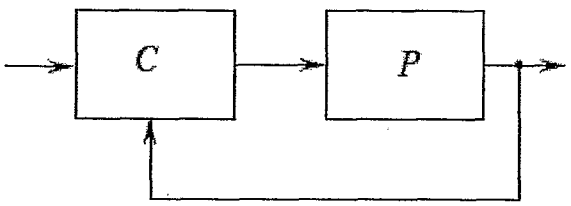
---

[1]- Fuzzy Logic Controller (FLC)
[2]- Optimization
[3]- Genetic Algorithm
[4] Robust Control

۱-۲- کنترل

علاقه انسان به تحت اختیار در آوردن و تسلط بر پدیده ها، باعث پیدایش شاخه جدیدی از دانش ها به نام علم کنترل گردیده است. علمی که امروز نفوذ خود را به شاخه های دیگر علوم از صنعت و تکنولوژی و سیاست و علوم پزشکی و ... گسترده است.

روش های مختلف طراحی کنترل کننده ها همواره سعی در افزایش قابلیت، انعطاف و سرعت سیستم های کنترل داشته اند. کاهش زمان فراز[1] یا افزایش سرعت، کاهش زمان نشست[2]، کاهش بالازدگی[3]، صفر کردن خطای ماندگار، افزایش مقاومت[4] به تغییرات پارامترهای مدل، قابلیت حذف نویز و اغتشاش و کاهش هزینه کنترل از دیگر اهداف طراحی در سیستم های کنترل بوده است [۴]. هر کدام از روش های پیشنهادی هم در بعضی از موارد بالا موفق بوده و در بعضی دیگر ضعف نشان داده اند .شکل (۱-۱) ساختار کلی یک بازه کنترل حلقه بسته را نشان می دهد.



شکل ۱-۱- ساختار کلی کنترل حلقه بسته.

در طراحی کنترل کننده ها تامین تمامی موارد فوق به طور همزمان ممکن نیست. بنابراین باید در مقابل بر آورده شدن بعضی از آنها، از موارد دیگر چشم بپوشیم.

بهینه سازی همزمان چند قابلیت کنترل کننده ها که در تضاد با هم عمل می کنند همواره از مسائل مورد بحث در مهندسی کنترل بوده است. به عنوان مثال کاهش همزمان زمان فراز و بالازدگی در طراحی کنترل کننده ها ممکن نیست و بهبود در وضعیت یکی باعث افزایش در دیگری می شود.

اما به طور کلی بر آورده کردن دو هدف عمده در طراحی کنترل کننده ها، یعنی پایداری و عملکرد و هزینه کنترلی، از مهمترین چالش های مهندسی کنترل می باشد. در بهینه سازی کنترل کننده ها با چند تابع هدف نیز باید توابع هدف را که در تضاد با هم عمل می کنند به طور همزمان بهینه کرده و در نهایت با برقرار کردن مصالحه بین توابع هدف، به پاسخ مطلوب دست یافت.

---

[1]- Rising time
[2]- settling time
[3]- Overshoot
[4]- Robustness

۱-۳- بهینه سازی و الگوریتم های تکاملی[1]

بهینه سازی در طراحی مهندسی همواره دارای اهمیت خاصی بوده و به خصوص در حل مسائل پیچیده طراحی دنیای واقعی، مورد استفاده بسیار قرار گرفته است. اساسا فرآیند بهینه سازی شامل پیدا کردن مجموعه ای از مقادیر برای بردار متغیرهای طراحی می باشد که در نهایت منجر به مقدار بهینه تابع هدف می شود. در بهینه سازی مسائل مهندسی، اغلب با چند تابع هدف سروکار داریم که باید به طور همزمان بهینه شوند و معمولا بهبود در یکی از توابع هدف باعث بدتر شدن تابع یا توابع هدف دیگر می شود. این دسته از مسائل را مسائل بهینه سازی چند هدفی می نامیم. در مسائل بهینه سازی چند هدفی همانند مسائل تک هدفی یک بردار طراحی بهینه به عنوان جواب مسئله وجود ندارد، بلکه مجموعه ای از بردارهای طراحی بهینه به عنوان جواب مسئله معرفی می گردند که اصطلاحا پارتو خوانده می شوند. طراح با توجه به نیاز خود و میزان اهمیتی که برای توابع هدف در نظر می گیرد، یکی از این بردارها را برمی گزیند.

به طور کلی الگوریتم های تکاملی یک روش بهینه سازی تکراری و تصادفی می باشند که فرضیه اصلی آن از نظریه تکاملی داروین گرفته شده است [۶]. الگوریتم های تکاملی یک فرآیند بهبود و تکامل تدریجی در فضای پاسخ های مساله می باشند و بر روی یک دسته از جمعیت ها به منظور دست یابی به بهترین پاسخ تقریبی ممکن، برای یک مساله بهینه سازی عمل می کنند. در یک فرآیند تکامل سه عمل اصلی جهش، پیوند و انتخاب بر روی جمعیت حاضر انجام می گیرد. عملگر انتخاب، نخبه ها را در هر جمعیت مستقیماً به نسل بعد منتقل می کند. این انتخاب بر اساس میزان برازندگی کروموزوم ها که معیار ارزیابی مینیمم بودن است، صورت می گیرد. عملگرهای جهش و پیوند، کروموزوم های جدیدی را برای حل مساله در نسل بعد تولید می کنند [۷]. باتوجه به ویژگی های خاصی که الگوریتم های تکاملی دارند به ابزار قدرت مندی برای بهینه یابی مسائل مهندسی و به ویژه طراحی کنترل کننده ها تبدیل شده اند [۲]. در سالهای اخیر، الگوریتم بهینه سازی چند هدفی II NSGA(که بر اساس الگوریتم ژنتیک پایه گذاری شده است) توسط Deb برای حل مسائل چند هدفی پیشنهاد گردیده است. به دلیل مشکلاتی که در زیر برنامه crowding factor این برنامه وجود دارد، الگوریتم مذکور در حل مسائل با چند تابع هدف دارای مشکلاتی است [۵]. درکل این پایان نامه، جهت مرتفع کردن مشکلات مربوطه از زیر برنامه $\varepsilon - elimination$ به جای زیر برنامه Crowding factor استفاده شده است.

۱-۴- کنترل فازی

در دنیای فراصنعتی امروز و در شاخه های گوناگون علوم کاربردی، منطق فازی[2] جایگاه با اهمیت خود را در کاربردهای متفاوت از جمله کنترل سیستمهای مهندسی و هوش مصنوعی به دست آورده است [۸]. کنترل کننده های منطق فازی در

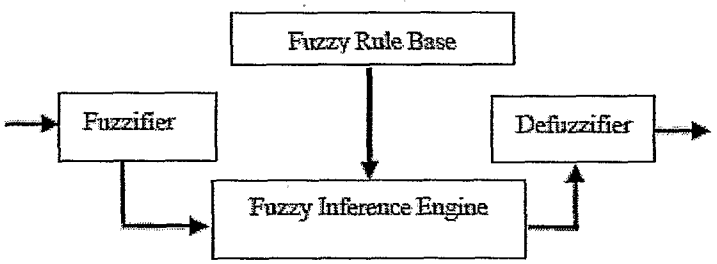
[1]- Evolutionary Algorithms
[2] -Fuzzy Logic

بسیاری از زمینه های مهندسی کنترل با موفقیت به کار گرفته شده اند [۲]. کنترل کننده های فازی، سیستم هایی بر پایه قواعد می باشند که از متغیر های زبانی استفاده می کنند تا از این رهیافت دانش کنترلی متخصص خبره را مدل سازی و فرموله نمایند و بدین وسیله بر محدودیت های ناشی از عدم صراحت و ابهامات در بیان ریاضی وار دانش انسانی غلبه می کنند [۹].

اگر مدل ریاضی فرآیند تحت کنترل، پیچیده یا ناقص باشد، یا فرآیند غیرخطی یا متغیر با زمان باشد، و یا اینکه کنترل فرآیند توسط روش های معمول کنترلی مشکل یا غیر ممکن باشد، در چنین مواردی کنترل منطق فازی روش مناسبی برای این کار می باشد [۱۰]. طراحی کنترل فازی فقط نیازمند آزمایشات و تجربه اپراتورها و دانش متخصص خبره می باشد که در قالب متغیر های زبانی[1] بیان می شوند [۱۱].

از مزایای دیگر کنترل کننده های فازی می توان توانایی آنها برای کنترل سیستم های غیرخطی(زیرا آنها به صورت نگاشت های غیرخطی عمل می کنند) و کنترل سیستم هایی با انحراف زیاد از ورودی مرجع را نام برد [۱۲].

مجموعه های فازی ورودی و خروجی که بر اساس متغیر های ورودی و خروجی سیستم کنترل شکل گرفته اند، به همراه قواعد فازی، یک کنترل کننده فازی را شکل می دهند. این قواعد که به صورت اگر-آنگاه بیان می شوند قلب یک کنترل کننده فازی را تشکیل می دهند [۱۰]. شکل(۱-۲) ساختار کلی کنترل کننده منطق فازی را نشان می دهد.



شکل ۱-۲- ساختار کلی کنترل کننده فازی

مشکل اساسی در طراحی کنترل کننده های منطق فازی نبود یک روش جامع در تنظیم پارامترهای مجموعه ها و قواعد فازی می باشد و عموماً با سعی و خطا تنظیم می گردند. به علت این مشکلات در طراحی کنترل کننده های فازی، اخیراً از روش و تکنیک های هوشمند و به طور مشخص از شبکه های عصبی و الگوریتم های تکاملی برای این منظور به میزان وسیعی استفاده شده است [۱۰].

نمونه هایی از کاربرد های الگوریتم های تکاملی در طراحی کنترل کننده های منطق فازی در مراجع [۱۳]و[۱۴] آورده شده اند. به طور کلی دو رهیافت متفاوت در طراحی کنترل فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک وجود دارد. در روش اول

[1]- Linguistic Variables

پارامترهای تنظیم توابع عضویت در ورودی ها و خروجی های کنترل فازی تماماً در یک کروموزوم توسط الگوریتم ژنتیک بدست می آید. اما قواعد کنترل توسط طراح انسانی باید مشخص شوند [۱۵].

در روش دوم فقط قواعد فازی برچسب گذاری شده و به طور کامل در یک کروموزوم کد گذاری می شوند و توابع تعلق[1] در فضای پاسخ در فواصل مساوی توزیع می گردند [۱۵]. روش های ترکیبی دو روش بالا نیز وجود دارند ولی اشکال این روشها این است که فضای جستجوی پاسخ ها بسیار وسیع شده و احتمال همگرایی الگوریتم کم می شود. در این پایان نامه از روشی مشابه روش ترکیبی استفاده شده و با انجام تغییراتی در آن به همگرایی الگوریتم کمک شده است. بدین ترتیب، با استفاده از الگوریتم ژنتیک می توانیم توابع عضویت و قواعد کنترلی را در کنترلر فازی آونگ وارون و به صورت بهینه سازی چند هدفی به دست آوریم. نتایج به دست آمده موسوم به جبهه پارتو می باشند و دسته جواب هایی را نمایش می دهند که بر هم برتری ندارند و هر کدام از نقاط آن را می توان به عنوان یک کنترلر فازی بهینه استفده نمود.

۱-۵- سیستم های نامعین

از آنجائیکه یک رابطهٔ ریاضی بطور دقیق نمی تواند یک سیستم فیزیکی را مدل نماید، به همین دلیل این عدم دقت یکی از عوامل ایجاد خطا در طراحی ها می شود[۱۶]. امروزه سعی می شود با درنظر گرفتن نامعینی هایی برای سیستم، طراحی را بگونه ای انجام دهند که دارای توانمندی مناسبی در مواجهه با این نامعینی ها باشد. به این نوع طراحی برای سیستم های نامعین، طراحی مقاوم گفته می شود. نامعینی های سیستم به دو دستهٔ ساختاریافته و غیر ساختاریافته تقسیم می شوند. نامعینی ساختار یافته ناشی از نامعینی مقدار پارامترهای ساختار شناخته شدهٔ سیستم می باشد، در صورتیکه نامعینی غیر ساختار یافته ناشی از ساختار نامعین و دینامیک مسئله می باشد. معمولاً در نظر گرفتن نامعینی های مدل تأثیر بسیار زیادی بر پایداری، رفتار و عملکرد سیسمتها می گذارد.

۱-۶-کنترل فازی مقاوم[2]

تقریبا برای همه سیستمهای عملی خصوصا سیستمهای صنعتی ،مدلهای سیستم تحت کنترل هرگز نمی تواند کاملا دقیق بدست آیند. از آنجائیکه کنترل کننده ها بر اساس مدلها طراحی می شوند،عملکرد خوب کنترلرها در تئوری و شبیه سازی ها لزوما عملکرد خوبی در سیستمهای حقیقی به دنبال نخواهد داشت.

هدف کنترل مقاوم عبارت از طراحی کنترل کننده هایی است که پایداری سیستمهای حلقه بسته را برای محدوده وسیعی از سیستمهای تحت کنترل تضمین نماید.به عبارت دیگر مقاوم تر بودن کنترل کننده ها باعث می گردد که محدوده وسیع

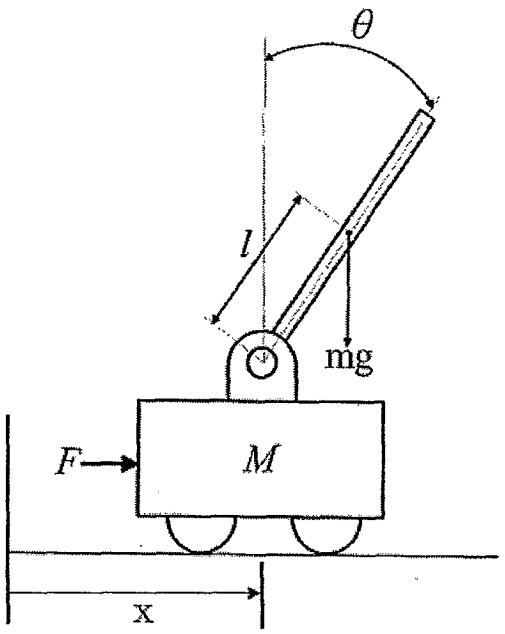
[1]- Membership functions
[2]- Robust fuzzy control

تری از سیستمهای نامعین مورد بررسی قابل کنترل باشند. در این پایان نامه با استفاده از بهینه سازی چند هدفی روشی برای طراحی بهینهٔ کنترلرهای مقاوم ارائه شده است. برای محاسبهٔ احتمال شکست از روش شبه مونت کارلو استفاده شده است که از لحاظ مدت زمان اجرای برنامه در مقایسه با روش معمول مونت کارلو بسیار کمتر بوده و پاسخ آن در سطح قابل قبولی می باشد. منحنی Pareto بدست آمده از بهینه سازی چند هدفی امکان برقراری مصالحه بین توابع هدفی که با یکدیگر در تضاد هستند را فراهم می سازد و طراح با در نظر گرفتن شرایط مورد نظر، امکان بیشتری برای انتخاب در دست دارد.

۱-۷- ساختار کلی پایان نامه

در این پایان نامه از کنترل کننده های فازی مقاوم برای کنترل آونگ وارون[1] استفاده می شود (شکل(۱-۳)). این کنترل کننده ها توسط الگوریتم ژنتیک و به صورت بهینه سازی چند هدفی طراحی شده است. جرم گاری و جرم آونگ به عنوان نا معینی های سیستم در نظر گرفته می شود که برای شبیه سازی نا معینی های سیستم از روش شبیه سازی مونت کارلو استفاده می شود. در این پروژه میانگین و واریانس میزان عملکرد و سیگنال کنترل به عنوان ۴ توابع هدف مد نظر میباشند که باید بطور همزمان بهینه شوند. منظور از عملکرد،مجموع وزنی انتگرال خطای موقعیت گاری و زاویه آونگ و منظور از سیگنال کنترل،انتگرال خطای نیروی وارد بر گاری در یک بازه زمانی خاص می باشد. همچنین کنترلر فازی باید به گونه ای طراحی شود که توانایی پایدار نگه داشتن آونگ به ازای نامعینی های مورد نظر و نیز شرایط اولیه متفاوت زاویه آونگ و موقعیت مکانی گاری را دارا باشد.پس از طراحی کنترل فازی مقاوم به نمودارهای پارتویی دست خواهیم یافت که هر یک از نقاط آن را میتوان به عنوان یک نقطه بهینه طراحی انتخاب کرد.اما با مصالحه بین توابع هدف و با توجه به اهمیت هر یک از توابع هدف برای طراح می توان به نقطه بهینه طراحی دست یافت. سپس به مقایسه بین نقاط پارتو در فضای معین و نا معین میپردازیم.

[1]- Inverted Pendulum



شکل ۱-۳- نمای شماتیک آونگ وارون.

درفصل اول پایان نامه توضیحات کلی درباره کنترل و کنترل کننده های فازی و روش استفاده شده برای طراحی آن ها آورده می شود. در فصل دوم به توصیف مدل فیزیکی و دینامیک آونگ وارون پرداخته ایم .سپس اصول سیستم های منطق فازی و چگونگی عملکرد آنها را توضیح داده و آنگاه به کنترل کننده های منطق فازی و روش طراحی آن می پردازیم. در فصل سوم نگاهی اجمالی به بهینه سازی و الگوریتم های تکاملی شده و سپس الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی چند هدفی و الگوریتم مورد استفاده در این پایان نامه توضیح داده می شود.

در فصل چهارم به بررسی روشهای تحلیل احتمالاتی برای کنترل کننده های فازی مقاوم می پردازد. فصل پنجم شامل نتایج بهینه سازی چند هدفی[1] کنترل کننده های فازی مقاوم و غیر مقاوم می باشد و در نهایت در فصل ششم بحث، نتیجه گیری و پیشنهادات برای ادامه کار آورده می شود.

[1]- Multi Objective Optimization (MOO)

فصل دوم

دینامیک آونگ وارون

و

کنترل فازی