بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی کنترل

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-کنترل

عنوان

کنترل تطبیقی فازی برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی با ساختار فیدبک‌پذیر غیراکید

استاد راهنما

دکتر سحرانه قائمی

استاد مشاور

دکتر امیر ریخته‌گر غیاثی

پژوهشگر

مینا رحیمی

بهمن۱۳۹۳

نام خانوادگی:رحیمی **نام:** مینا

عنوان پایان‌نامه: کنترل تطبیقی فازی برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی با ساختار فیدبک‌پذیر غیراکید

استاد راهنما: دکتر سحرانه قائمی

استاد مشاور: دکتر امیر ریخته‌گر غیاثی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی برق- کنترل **گرایش:** کنترل

دانشگاه: دانشگاه تبریز **دانشکده:** مهندسی برق و کامپیوتر

تاریخ فارغ التحصیلی:۱۳۹۳/۱۱/۱۹ **تعداد صفحات:**۶۷

کلید واژه‌ها: سیستم‌های غیرخطی، کنترل تطبیقی، سیستم‌های منطق فازی، فیدبک غیر اکید

چکیده:

کنترل سیستم‌های غیرخطی، به علت عدم وجود روش‌های قاعده‌مند برای چنین سیستم‌هایی ، یک موضوع چالش برانگیز در مباحث کنترل به شمار می‌رود. این مساله از نظر عملی اهمیت فراوانی دارد، زیرا رفتار بسیاری از سیستم‌های واقعی، رفتاری غیرخطی است و دینامیک مدل‌های خطی برای توصیف آن‌ها کفایت نمی‌کند. از طرفی در بسیاری موارد مدل دینامیکی دقیق سیستم مورد بررسی در دسترس نمی‌باشد و برخی توابع سیستم نامعلوم هستند. یکی از راهکارهای کنترل چنین سیستم‌هایی ترکیب روش‌های کلاسیک و هوشمند کنترلی می‌باشد که از این میان ترکیب کنترل تطبیقی و سیستم‌های فازی یکی از پرکاربردترین روش‌ها در کنترل سیستم‌های غیرخطی است.

در این پایان‌نامه در چارچوب کنترل تطبیقی و با استفاده از تقریب فازی و تکنیک طراحی گام به عقب یک طرح کنترلی برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی تک ورودی تک خروجی با ساختار فیدبک غیر اکید مورد مطالعه قرار گرفته است که هدف آن طراحی ساختار یک کنترل‌کننده مناسب برای دستیابی به ردیابی خروجی سیستم حلقه بسته از سیگنال مرجع با خطای قابل قبول و نیز تضمین پایداری سیستم حلقه بسته است.

روش کنترل فازی تطبیقی برای کلاسی از سیستم‌های غیر خطی با ساختار فیدبک غیر اکید با تاخیرهای متغیر با زمان ارائه شده و پایداری سیستم حلقه بسته و ردیابی خروجی سیستم حلقه بسته از ورودی مرجع بر اساس نظریه لیاپانوف اثبات شده است. کنترل کننده پیشنهادی بر روی دو سیستم در سه حالت مختلف با تاخیرهای متغیر با زمان ، با تاخیرهای ثابت و بدون تاخیر اعمال شده و نتایج شبیه‌سازی‌ها ارائه و مقایسه شده است.

فهرست مطالب

پیشگفتار ۱

بخش اول : پیشینه پژوهش و بررسی منابع ۳

۱-۱ مقدمه ۴

۱-۲ مروری برکنترل تطبیقی ۶

۱-۳ مروری بر سیستم‌های منطق فازی ۹

۱-۴ بررسی منابع ۱۱

بخش دوم : مواد و روش‌ها ۲۱

۲-۱ مقدمه ۲۲

۲-۲ سیستم‌های فازی ۲۲

۲-۲-۱ سیستم‌های استنتاج فازی ۲۲

۲-۲-۲ تقریب فازی ۲۴

۲-۳ روش گام به عقب در سیستم‌های غیرخطی ۲۵

۲-۴ روش پیشنهادی ۲۶

۲-۴-۱ تعریف مساله و فرضیات ۲۶

۲-۴-۲ طراحی کنترل‌کننده برای سیستم‌های با تاخیر زمانی ۲۸

۲-۴-۳ تحلیل پایداری ۳۱
بخش سوم : نتایج و بحث ۴۱
۳-۱ مقدمه ۴۲
۳-۲ اعمال کنترل‌کننده بر سیستم‌هایی با تاخیرهای متغیر با زمان ۴۲
۳-۲-۱ مثال اول ۴۲
۳-۲-۲ مثال دوم ۴۶
۳-۳ اعمال کنترل‌کننده بر سیستم‌هایی با تاخیرهای ثابت ۴۹
۳-۳-۱مثال دوم با تاخیرهای ثابت ۴۹
۳-۵ نتیجه‌گیری ۵۷
بخش چهارم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۵۸
۴-۱ نتیجه‌گیری ۵۹
۴-۲ پیشنهادات ۶۰
مراجع ۶۱
فهرست واژگان ۶۶

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱): بلوک دیاگرام سیستم کنترل تطبیقی ۸

شکل (۲-۱): ساختار کلی سیستم استنتاج فازی ۲۴

شکل (۲-۲): بلوک دیاگرام سیستم کنترلی ۳۱

شکل (۳-۱): خروجی سیستم حلقه بسته (y) و سیگنال مرجع (y_d) سیستم (۳-۱) ۴۴

شکل (۳-۲): سیگنال‌های قوانین تطبیقی θ_1 و θ_2 برای سیستم (۳-۱) ۴۴

شکل (۳-۳): متغیر حالت x_2 برای سیستم (۳-۱) ۴۵

شکل (۳-۴): سیگنال ورودی کنترلی برای سیستم (۳-۱) ۴۵

شکل (۳-۵): خروجی سیستم حلقه بسته (y) و سیگنال مرجع (y_d) سیستم (۳-۳) ۴۷

شکل (۳-۶): سیگنال‌های قوانین تطبیقی θ_1 و θ_2 و θ_3 برای سیستم (۳-۳) ۴۷

شکل (۳-۷): متغیرهای حالت x_2 و x_3 برای سیستم (۳-۳) ۴۸

شکل (۳-۸): سیگنال ورودی کنترلی برای سیستم (۳-۳) ۴۹

شکل (۳-۹): خروجی سیستم حلقه بسته (y) و سیگنال مرجع (y_d) سیستم (۳-۴) با تاخیر $\tau = 0.93$ ۵۰

شکل (۳-۱۰): خروجی سیستم حلقه بسته (y) و سیگنال مرجع (y_d) سیستم (۳-۴) با تاخیر $\tau = 0.5$ ۵۱

شکل (۳-۱۱): خروجی سیستم حلقه بسته (y) و سیگنال مرجع (y_d) سیستم (۳-۴) در حالت بدون تاخیر ۵۱

شکل (۳-۱۲): سیگنال‌های قوانین تطبیقی θ_1و θ_2و θ_3 برای سیستم (۳-۴) با تاخیر $\tau = 0.93$ ۵۲

شکل (۳-۱۳): سیگنال‌های قوانین تطبیقی θ_1و θ_2و θ_3 برای سیستم (۳-۴) با تاخیر $\tau = 0.5$ ۵۲

شکل (۳-۱۴): سیگنال‌های قوانین تطبیقی θ_1 و θ_2 و θ_3 برای سیستم (۳-۴) در حالت بدون تاخیر..... ۵۳

شکل (۳-۱۵): متغیرهای حالت x_2و x_3برای سیستم (۳-۴) با تاخیر $\tau = 0.93$..... ۵۳

شکل (۳-۱۶): متغیرهای حالت x_2و x_3برای سیستم (۳-۴) با تاخیر $\tau = 0.5$..... ۵۴

شکل (۳-۱۷): متغیرهای حالت x_2و x_3برای سیستم (۳-۴) در حالت بدون تاخیر..... ۵۴

شکل (۳-۱۸): سیگنال ورودی کنترلی برای سیستم (۳-۴) با تاخیر $\tau = 0.93$ ۵۵

شکل (۳-۱۹): سیگنال ورودی کنترلی برای سیستم (۳-۴) با تاخیر $\tau = 0.5$ ۵۵

شکل (۳-۲۰): سیگنال ورودی کنترلی برای سیستم (۳-۴) در حالت بدون تاخیر..... ۵۶

پیشگفتار

طراحی کنترل‌کننده‌های مرسوم برای سیستم‌های غیرخطی، نیاز به در دست داشتن مدل دینامیکی سیستم مورد نظر دارد و چون در بسیاری موارد توابع سیستم‌های غیرخطی نامعلوم هستند، استفاده از روش‌های هوشمند مانند منطق فازی و شبکه عصبی برای تخمین این توابع ضرورت پیدا می‌کند. از طرفی کنترل تطبیقی در شرایطی که مدل دقیقی از سیستم در دست نباشد یا تغییرات کندی در سیستم موجود باشد و نیاز به تنظیم برخط پارامترهای کنترلی وجود داشته باشد به کار گرفته می‌شود. از این رو ترکیب سیستم‌های فازی با روش‌های کنترل تطبیقی می‌توان راه‌گشای بسیاری از مسائل کنترلی پیچیده باشد.

در این پایان‌نامه یک روش کنترل تطبیقی و با استفاده از تخمین فازی و تکنیک طراحی گام به عقب یک طرح کنترلی برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی تک ورودی تک خروجی با ساختار فیدبک غیر اکید مورد مطالعه قرار گرفته است که هدف آن طراحی ساختار یک کنترل‌کننده مناسب برای دستیابی به تعقیب سیگنال مرجع با خطای قابل قبول و نیز تضمین پایداری سیستم است.

در بخش اول، به بررسی سیستم‌های غیر خطی و اهمیت کنترل این سیستم‌ها و معرفی روش های کنترل غیرخطی پرداخته شده و سپس مروری بر کنترل تطبیقی و روش‌های مختلف آن صورت گرفته است. در ادامه سیستم‌های منطق فازی، تاریخچه و انواع آن مورد بررسی قرار گرفته است. در قسمت بعدی این بخش بررسی منابع موجود در زمینه کنترل تطبیقی فازی سیستم‌های غیر خطی مختلف صورت گرفته است.

در بخش دوم، ابتدا، روش کنترل فازی تطبیقی برای کلاسی از سیستم‌های غیر خطی با ساختار فیدبک غیراکید ارائه شده است. سپس روش پیشنهادی برای سیستم‌های با فیدبک غیر اکید با تاخیرهای زمانی ارائه

شده و پایداری سیستم حلقه بسته و ردیابی خروجی سیستم حلقه‌بسته از ورودی مرجع بر اساس نظریه لیاپانوف اثبات شده است.

در بخش سوم، کنترل‌کننده پیشنهادی بر روی دو سیستم در سه حالت مختلف با تاخیرهای متغیر با زمان، با تاخیرهای ثابت و بدون تاخیر، اعمال شده و نتایج شبیه‌سازی ها ارائه و مقایسه شده است که نشان‌دهنده کارایی روش ارائه شده می‌باشد.

در بخش چهارم، نتیجه‌گیری از پایان‌نامه به همراه پیشنهاداتی برای ادامه کار ارائه شده است.

بخش اول

پیشینه پژوهش و بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر، کنترل سیستم‌های غیرخطی و یافتن راهکارهایی برای بهبود عملکرد این سیستم‌ها، به یکی از مسائل اساسی در مباحث کنترلی تبدیل شده است[۱-۲]. این مساله از نظر عملی اهمیت فراوانی دارد، زیرا رفتار بسیاری از سیستم‌های واقعی، رفتاری غیرخطی است و دینامیک مدل‌های خطی برای توصیف آن‌ها کفایت نمی‌کند. برخی خواص سیستم‌های غیرخطی به طور طبیعی جزء سیستم هستند و باید در کنترل سیستم آن‌ها را مورد توجه قرار داد. به عنوان مثال می‌توان به اصطکاک، تاخیر، اشباع و نظایر آن اشاره کرد. این عوامل معمولا اثرات نامطلوب بر عملکرد سیستم دارند و باید جبران شوند. عوامل غیرخطی دیگری نیزبه طور مصنوعی توسط طراحان سیستم‌های کنترل، مانند کنترل‌کننده های تطبیقی و مقاوم جهت بهبود رفتار سیستم به آن اضافه می‌شوند.

سیستم‌های با تاخیر زمانی به عنوان دسته مهمی از سیستم‌های غیرخطی در فرایندهای شیمیایی، آیرودینامیک، موتورهای توربوجت، سیستم‌های هیدرولیک، اسیلاتورهای ریز موج، راکتورهای هسته‌ای و شبکه‌های ارتباطی حضور دارند [۳-۵]. بسیاری از فرایندهای صنعتی، سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی در دینامیک داخلی‌شان شامل پدیده زمان مرده[۱] هستند [۶]. علاوه بر این، سنسورها، محرک‌ها و شبکه‌های ارتباطی تاخیرهای اضافی را ایجاد می کنند. تاخیر زمانی به عنوان زمان مورد نیاز بین اعمال تغییر در ورودی و مشاهده تاثیر آن در خروجی تعریف می‌شود. زمان تاخیر در سیستم‌های مختلف متفاوت بوده و بستگی به

[۱] Dead- zone

پیچیدگی سیستم دارد. تاخیرهای بسیار طولانی در هنگامی که تاثیر تاخیر در زمان واقعی قابل مشاهده نیست ممکن است باعث شود که سیستم تاخیردار به عنوان یک سیستم بدون تاخیر شناخته شود.

تاخیر زمانی می‌تواند یک منبع مهم ناپایداری و عملکرد ضعیف سیستم‌ها باشد. بنابراین تلاش‌های بسیاری برای ایجاد یک تئوری برای کنترل چنین سیستم‌هایی انجام‌گرفته‌است [۷-۱۲]. وجود تاخیر در سیستم‌های پیوسته، ابعاد سیستم را بی‌نهایت می‌کند و در سیستم‌های گسسته باعث افزایش قابل توجه ابعاد سیستم می‌گردد و همین مساله منجر به پیچیدگی روند طراحی برای سیستم‌های تاخیری خواهد شد.

اولین کاری که در طراحی یک سیستم کنترلی انجام می‌گیرد، بدست آوردن یک مدل ریاضی است که فرایند واقعی تحت کنترل را توصیف کند. هرچند فرایند واقعی ممکن است بسیار پیچیده باشد و ممکن است دینامیک آن به طور کامل قابل درک نباشد. ایجاد یک مدل ریاضی که رفتار فیزیکی فرایند را در یک رنج کاری به دقت توصیف کند مسئله چالش‌برانگیزی است. حتی اگر یک مدل ریاضی دقیق از فرایند موجود باشد چنین مدلی ممکن است از مرتبه بالا باشد که منجر به کنترل‌کننده پیچیده‌ای خواهد شد که پیاده‌سازی آن پرهزینه بوده و عملکردش به خوبی قابل درک نخواهد بود. مدل ریاضی باید بتواند فرایند را به دقت توصیف کرده و در عین حال به اندازه کافی از لحاظ طراحی کنترل، ساده باشد.

عدم دقت مدل‌سازی می‌تواند در دو نوع نامعینی‌های ساختاری (پارامتری) و نامعینی‌های غیرساختاری (دینامیک‌های مدل‌نشده) تقسیم‌بندی شوند. دو روش مکمل و مهم در غلبه بر نامعینی‌های مدل، کنترل مقاوم[1] و تطبیقی[2] است. کنترل تطبیقی در غلبه بر نامعینی‌های ثابت یا نامعینی‌هایی که به کندی تغییر می‌کنند، بر کنترل مقاوم ترجیح داده می‌شود. علت عمده آن، ماهیت یادگیرنده‌ی کنترل تطبیقی در مقابل ماهیت ثابت کنترل مقاوم است. علت دیگر نیز آن است که کنترل‌کننده تطبیقی نیاز کم و یا هیچ نیازی به داشتن اطلاعات

[1] Robust
[2] Adaptive

قبلی از پارامترهای نامعلوم ندارد، در حالی‌که کنترل مقاوم معمولا به تخمینی از کران‌های پارامترها نیازمند است. از طرفی کنترل مقاوم بر خلاف کنترل تطبیقی، قابلیت غلبه بر اغتشاش، پارامترهای متغیر سریع و دینامیک‌های مدل‌نشده را دارد.

۲-۱ مروری بر کنترل تطبیقی

در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ تحقیقات وسیعی در زمینه‌ی کنترل تطبیقی و در خصوص طراحی اتوپایلوت‌ها برای هواپیماها انجام گرفت. پیش از شروع این تحقیقات، پژوهشگران دریافته بودند که کنترل پسخور خطی با بهره ثابت می‌تواند فقط در یک نقطه‌ی کار،کارایی خوبی داشته باشد. اما تغییراتی که در نقطه‌ی کار به‌وجود می‌آمد مشکلاتی را پدید آورد. در نتیجه لزوم استفاده از کنترل‌کننده‌ی پیچیده‌تری احساس می‌شد که بتواند در محدوده‌ی وسیعی از وضعیت‌های کاری، به خوبی کار کند. در دهه‌ی ۱۹۶۰ کارهای زیادی در خصوص نظریه‌ی کنترل انجام شد که در توسعه‌ی کنترل تطبیقی نقش بسزایی داشت. در آن زمان، مسئله‌ی فضای حالت و نظریه‌ی پایداری مطرح شد. همچنین نتایج مهمی در مورد نظریه‌ی کنترل فرایندهای اتفاقی بدست آمد. برنامه‌ریزی پویا، که مبدا آن بلمن[۱] بود، فهم فرایندهای تطبیقی را افزایش داد. همچنین سیپکین[۲] نظریه‌ای اساسی را مطرح کرد که نشان می‌داد بسیاری از طرح‌های کنترل یادگیرنده و کنترل تطبیقی قابلیت مطرح شدن در یک چارچوب مشترک را دارند. همچنین پیشرفت‌های بسیاری در مورد شناسایی سیستم[۳] و تخمین پارامتر حاصل شد. در دهه‌ی ۱۹۷۰ با ترکیب انواع مختلف تخمین و روش‌های گوناگون طراحی، دوره جدیدی

[1] Belman
[2] Tsypkin
[3] System identification

در کنترل تطبیقی به‌وجود آمد و کاربردهای بسیاری از کنترل تطبیقی معرفی شد، اما نتایج نظری بسیار محدود بود.

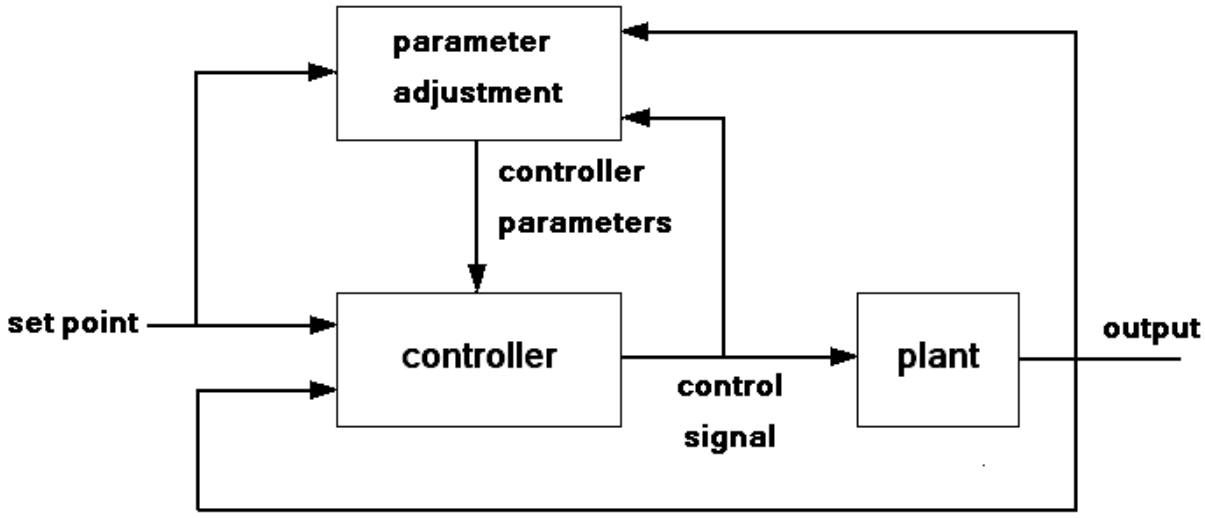
در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ برهان‌هایی برای پایداری سیستم‌های تطبیقی، البته با فرضیات محدود کننده، مطرح شد. بررسی و مطالعه‌ی لزوم وجود آن فرضیات، باعث بروز جرقه‌ای در تحقیقات جدید شد که موضوع این تحقیقات جدید، پایداری کنترل تطبیقی و نیز کنترل‌کننده‌های پایدارساز، بود. تحقیقات انجام‌شده در اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ و اوایل ۱۹۹۰، بینش‌های جدیدی را در پایداری کنترل‌کننده‌های تطبیقی به‌وجود آورد. بررسی‌های انجام‌شده بر روی سیستم‌های غیرخطی، درک کنترل تطبیقی را به‌طور چشمگیری افزایش داد [۱۳].

دلیل اولیه مطرح شدن کنترل تطبیقی، رسیدن به کنترل‌کننده‌هایی بود که بتواند با تغییر دینامیک فرایند و مشخصه‌های اغتشاش تطبیق یابد. این حقیقت ثابت شده که روش‌های تطبیقی برای تنظیم خودکار کنترل‌کننده‌ها قابل استفاده می‌باشند. کنترل تطبیقی مبتنی بر مدل‌هایی است که در هر لحظه از زمان به‌روز می‌شوند، یعنی اختلاف بین مدل و فرآیند در هر لحظه به حداقل مقدار خود می‌رسد. برای مثال پارامترهای مدل تابع تبدیل فرآیند می‌توانند در هر لحظه‌ی نمونه‌برداری، براساس داده‌های ورودی- خروجی به‌روز شوند. بنابراین هدف اصلی کنترل‌کننده تطبیقی افزایش مقاوم بودن سیستم کنترلی در مقابل نامعینی‌های مختلف مانند تغییر پارامترهای فرآیند و دینامیک‌های مدل نشده و یا شدیدا غیرخطی و داشتن توانایی غلبه بر اغتشاش می‌باشد.

کنترل تطبیقی به طور ذاتی غیرخطی است و متناسب با الگوریتم تطابق بسیار پیچیده‌تر از کنترل با بهره ثابت می‌باشد. هدف از این نوع کنترل این است که کنترل‌کننده طراحی شده با این روش، بتواند در مقابل تغییرات آرام در سیستم و همچنین خطاهای مدل‌سازی پاسخ مناسب دهد. از آن‌جاییکه همواره دست‌یابی آسان

به ایده کنترلی یکی از معیارهای مهم طراح در انتخاب شیوه کنترلی است، باید همواره پیش از انتخاب ایده یک کنترلی، دلایل انتخاب به دقت بررسی شود. به طورکلی در شرایطی که دینامیک‌های فرآیند، با گذشت زمان یا تحت شرایط کاری مختلف تغییر می‌کنند، یا هنگامی که آگاهی از دینامیک فرآیند دشوار باشد، می‌توان از کنترل تطبیقی استفاده نمود. تغییر ماهیت اغتشاش‌های وارد بر فرآیند و سیستم کنترلی نیز می‌تواند عامل قابل قبولی برای انتخاب کنترل تطبیقی به عنوان روش کنترلی بیان شود.

ساختار سیستم‌های کنترل تطبیقی را می‌توان مطابق شکل (۱-۱)، متشکل از دو حلقه در نظر گرفت؛ یک حلقه پسخوردی معمولی شامل فرایند وکنترل‌کننده و حلقه‌ی دیگر حلقه‌ی تنظیم پارامتر است که غالبا از حلقه‌ی پسخورد معمولی کندتر است.



شکل (۰-۱-۱) : بلوک دیاگرام سیستم کنترل تطبیقی[۱۳]

فرایند با کنترل‌کننده‌ای کنترل می‌شود که دارای پارامترهای قابل تنظیم است. اگر محیط و فرایند معلوم باشد، چند روش طراحی وجود دارد که تعیین کنترل‌کننده‌ای را که بعضی از معیارهای طراحی را برآورده می‌سازد، ممکن می‌کند. وقتی که مشخصه‌های فرایند و محیط اطراف آن، نامعلوم یا متغیر باشد، مسئله کنترل

تطبیقی، پیدا کردن روش تنظیم کنترل‌کننده است. سیستم‌های کنترل تطبیقی معمولا به دو دسته‌ی روش مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. در کنترل تطبیقی مستقیم، پارامترهای کنترل‌کننده، مستقیما، بدون اینکه ابتدا مشخصه‌های فرایند و اغتشاش‌های آن تعیین شود، تغییر داده می‌شود.در روش غیر مستقیم، ابتدا مدل فرایند و در صورت امکان مشخصه‌ی اغتشاش تعیین و سپس، پارامترهای کنترل‌کننده بر اساس این اطلاعات طراحی می‌شوند.

برای دستیابی به یک کنترل‌کننده‌ی تطبیقی، گام‌های زیر وجود دارد:

- رفتار مطلوب حلقه بسته مشخص شود.
- قانون کنترل مناسبی، با پارامترهای قابل تنظیم تعیین شود.
- مکانیزم تنظیم پارامترها به‌دست آید.
- قانون کنترل پیاده‌سازی شود.

۱-۳ مروری بر سیستم های منطق فازی[1]

منطق فازی برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط دکتر لطفی‌زاده، استاد علوم کامپیوتری دانشگاه برکلی کالیفرنیا، ابداع شد. مقاله کلاسیک پروفسور لطفی‌زاده درباره مجموعه فازی که در سال ۱۹۶۵ به چاپ رسید، سرآغاز جهتی نوین در علوم و مهندسی سیستم و کامپیوتر بود [۱۴]. رخداد بزرگ در دهه ۱۹۷۰ تولد کنترل‌کننده‌های فازی برای سیستم‌های واقعی بود. گرچه در دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ مخالفان جدی برای نظریه فازی وجود داشت، اما امروزه هیچ کس نمی‌تواند ارزش‌های منطق فازی و کنترل‌کننده‌های فازی را

[1]Fuzzy Logic Systems

انکار کند. از نقطه نظر تئوری سیستم‌های فازی و کنترل در اواخر دهه ۸۰ و اوائل دهه ۹۰ رشد چشم‌گیری پیدا کردند و پیشرفت‌هایی در زمینه برخی مشکلات اساسی سیستم‌های فازی صورت گرفت. به‌دلیل اینکه کنترل فازی به یک مدل ریاضی نیاز ندارد، می‌توان آن را در مورد بسیاری از سیستم‌هایی که به وسیله نظریه کنترل متعارف قابل پیاده‌سازی نیستند به کار برد. منطق فازی زیر مجموعه‌ای از محاسبات نرم است که توانایی تصمیم‌گیری و محاسبات را در شرایط نامعلوم و نامعینی به سیستم‌های کامپیوتری می‌دهد. سیستم‌های خبره فازی، امروزه حضور موفق در برخی امور از جمله تصمیم‌گیری در شرایط نامعینی و کنترل سسیستم‌های پیچیده دارند. به علت اینکه کنترل فازی به یک مدل ریاضی نیاز ندارد، می‌توان آن را در موارد بسیاری که سیستم‌ها با روش‌های کنترل متعارف قابل پیاده‌سازی نیستند، به‌کار برد.

سیستم‌های فازی، سیستم‌های مبتنی بر دانش یا قوانین می‌باشند. قلب سیستم فازی پایگاه دانشی است که از قوانین اگر- آنگاه فازی تشکیل شده است. معمولا از سه نوع سیستم فازی صحبت به میان می‌آید:

- سیستم فازی خالص.
- سیستم فازی تاکاگی سوگنو و کانگ.[1]
- سیستم‌های با فازی ساز و غیر فازی ساز.

سیستم‌های فازی را می‌توان به عنوان کنترل‌کننده حلقه باز و یا کنترل‌کننده حلقه بسته مورد استفاده قرار داد. هنگامی که به عنوان کنترل‌کننده حلقه باز استفاده می‌شوند، این سیستم‌ها معمولا بعضی پارامترهای کنترل را معین کرده و آنگاه سیستم مطابق با این پارامترهای کنترل کار می‌کند. هنگامی که سیستم‌های فازی به عنوان یک کنترل‌کننده حلقه بسته استفاده می‌شوند، در این حالت خروجی‌های فرایند را اندازه‌گیری کرده و به طور همزمان عملیات کنترل را انجام می‌دهند.

[1] TSK

طراحی کنترل‌کننده‌های مرسوم، نیاز به در دست داشتن مدل دینـامیکی سیسـتم مـورد نظـر دارد و چـون در بسیاری موارد توابع سیستم‌های غیر خطی نامعلوم هستند،استفاده از روش‌های هوشمند ماننـد منطـق فـازی و شبکه عصبی برای تقریب این توابع ضرورت پیدا می‌کند.

لذا در این پایان‌نامه سعی بر این است که در چارچوب کنترل تطبیقی و با اسـتفاده از تقریـب فـازی و تکنیـک طراحی گام به عقب[1] یک طرح کنترلی برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی تک ورودی تک خروجی با ساختار فیدبک غیر اکید ارائه شود که بتواند سیگنال مرجع را به‌خوبی دنبال کرده و پایداری سیستم نیز تضمین گردد.

۱-۴ بررسی منابع

مساله ردیابی در سیستم‌های غیر خطی با ساختارهای مختلف با در نظر گرفتن شرایط مختلفی مانند اشباع، تاخیر، زمان مرده و نظایر آن در مراجع مختلفمورد بررسی قرار گرفته و روش‌های مختلفی برای آن ارائه شده است.در این قسمت، به بررسی مطالعات و کارهای انجام شده در مراجع مورد مطالعه، در زمینه کنترل تطبیقی فازی سیستم های غیرخطی پرداخته شده‌است.

مرجع [۱۵] براستفاده از کنترل فازی تطبیقی برای ردیابی[2] کلاسی از سیستم‌های غیر خطی تک ورودی – تک خروجی نامعین با ساختار فیدبک اکید[3] تمرکز دارد.ساختار چنین سیستم‌هایی با فیدبک اکید به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\dot{x}_i = f_i(\bar{x}_i) + g_i(\bar{x}_i)x_{i+1}$$
$$\dot{x}_n = f_n(\bar{x}_n) + g_n(\bar{x}_n)u$$

[1] backstepping
[2] tracking
[3] strict feedback

$$y = x_1 \quad (۱-۱)$$

که در آن $y \in R, u \in R, \bar{x}_i = [x_1, x_2, \dots, x_i]^T$ به ترتیب بردار متغیر حالت، ورودی و خروجی سیستم و $f_i(.)$ و $g_i(.)$ توابع غیر خطی هموار می‌باشند و تابع $f_i(.)$ در زیرسیستم i ام تابعی از متغیرهای حالت از x_1 تا x_i است. در این مرجع، منطق فازی مستقیما برای تقریب سیگنال‌های کنترلی مطلوب و نامعلوم استفاده شده و یک کنترل‌کننده مستقیم ردیابی فازی تطبیقی با استفاده از تکنیک گام به عقب ساخته شده است. کنترل‌کننده پیشنهادی تضمین کرده که خروجی سیستم حلقه بسته به همسایگی کوچکی از سیگنال مرجع همگرا شده و تمامی سیگنال‌های سیستم حلقه بسته محدود مانده‌اند. مزیت اصلی این کنترل‌کننده این است که تنها شامل یک پارامتر تطبیقی است که به صورت برخط[1] به روز رسانی می‌شود.

در مرجع [۱۶]، کنترل‌کننده فازی تطبیقی به منظور ردیابی، با روش گام به عقب برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی چند ورودی– چند خروجی با فیدبک اکید ووردی با ناحیه زمان مرده[2] نامشخص نامتقارن و نیز حالتهای غیرقابل سنجش مطرح شده‌است. لذا برای تخمین این حالت‌های غیر قابل سنجش یک رویتگر حالت فازی طراحی شده است. همچنین با استفاده از اطلاعات شیب و کران‌های ناحیه زمان مرده و رفتار متغیر با زمان مولفه‌های ورودی به عنوان نامعینی‌های سیستم، یک روش جدید فیدبک خروجی فازی تطبیقی با استفاده از تکنیک گام به عقب ارائه شده است.این روش، پایداری مجانبی یکنواخت سیستم را تضمین کرده و همچنین نشان داده است که خطای رویتگر و خطای ردیابی به همسایگی کوچکی از صفر میل می‌کند.

در مرجع [۱۷] سیستم‌های مورد مطالعه شامل توابع نامعلوم، نواحی زمان مرده نامعلوم و حالت‌های غیر قابل اندازه‌گیری هستند. با استفاده از طراحی بازگشتی گام به عقب تطبیقی و ساخت معکوس نواحی زمان مرده یک روش جدید فازی تطبیقی گام به عقب فیدبک خروجی بدست آمده‌است. روش ارائه شده در این مقاله نیز نیازی

[1] Online
[2] dead-zone

به خطی‌سازی توابع غیر خطی یا بیان به صورت ترکیبی خطی از توابع غیرخطی ندارد و به جای آن از سیستم‌های فازی برای تخمین توابع نامعلوم و تبدیل سیستم نامعین غیرخطی به مدل پارامتری نامعین استفاده شده است.

درمرجع[۱۸] کنترل‌کننده فازی تطبیقی جبران خرابی راه‌انداز برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی اتفاقی با ساختار فیدبک اکید ارائه شده که پایداری و ردیابی سیگنال خروجی را تضمین کرده است.

در مراجع [۲۲-۱۹] به مساله کنترل تطبیقی فازی سیستم‌های فازی سیستم‌های تاخیردار پرداخته شده است. در مرجع [۱۹] کنترل کلاسی از سیستم‌های غیرخطی آشوبناک با ساختار فیدبک اکید با تاخیرهای متغیر با زمان نامعلوم مورد بررسی قرار گرفته است. در مرجع [۲۰] تاخیر در ورودی سیستم مشاهده می‌شود . در هر دو مرجعاز روش گام به عقب و تقریب فازی استفاده شده است. مرجع [۲۱] مساله ردیابی را برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی تک‌ورودی-تک‌خروجی نامعین با ساختار فیدبک اکید مورد بررسی قرار داده است. الگوریتم پیشنهادی از روش گام به عقب استفاده نمی‌کند بلکه سیستم با فیدبک اکید را تبدیل به فرم نرمال می‌کند. سیستم فازی ممدانی [۱]برای تقریب برخط توابع غیرخطی نامعلوم استفاده شده‌است. مهم‌ترین مزیت قانون کنترلی طراحی شده این است که مستقل از تاخیرهای زمانی است و تنها یک بردار پارامتر تطبیقی برای به بروز رسانی برخط دارد و به‌صورت قابل توجهی از روش‌های مبتنی بر روش گام به عقب ساده‌تر است. در مرجع [۲۲] یک روش کنترلی برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی با تاخیرهای زمانی نامعلوم و حالت‌های غیرقابل سنجش ارائه شده‌است. سیستم‌های منطق فازی برای تقریب توابع غیرخطی نامعلوم و رویتگر حالت فازی برای تخمین حالت‌ها استفاده شده‌است. با ترکیب تکنیک تطبیقی گام به عقب و کنترل سطح دینامیک[۲]،

[1] Mamdani
[2] Dynamic Surface Control (DSC)