بسم الله الرحمن الرحيم

٢٧٩٨٤

۱۳۷۹ /۱/ ۲۸

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
قسمت مدارک

طراحی کنترل کننده فازی عصبی وفقی
برای سیستم های غیر خطی

پایان نامه کارشناسی ارشد کنترل

محمد دا نش

5575

استاد راهنما

دکتر ولی الله طحانی

۱۳۷۸

۲۷۹۸۴

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته کنترل آقای محمد دانش

تحت عنوان

طراحی کنترل کننده فازی عصبی وفقی
برای سیستمهای غیر خطی

در تاریخ ۵/ ۸/ ۱۳۷۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه — دکتر ولی الله طحانی

۲- استاد مشاور پایان نامه — دکتر فرید شیخ الاسلام

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علیمحمد دوست حسینی

بسمه تعالی

سپاسگزاری

"من علمنی حرفا" فقد سیررنی عبداً"

حمد و سپاس بی پایان خداوند را که همه سپاسها از آن اوست. چراغ افروزان راه دانش و پویندگان مسیر آفرینش. بشارت دهندگان طلوع صبحی روشن و نوید دهندگان فردایی بس امید بخشترند، و از این جهت. در خور تقدیر و شایسته سپاس.

از جناب آقای دکتر ولی ا... طحانی، استاد راهنمای پایان نامه که همواره در مقاطع مختلف تحصیل و مراحل گوناگون انجام پروژه، از نظرات سودمند و راهنماییهای ارزنده شان بهره مند بودم و از محضر درس ایشان کسب فیض نمودم، کمال تشکر را دارم. از آقای دکتر فرید شیخ الاسلام، استاد مشاور پایان نامه که در جهت پیشبرد کار پروژه همکاری بسیار زیادی را مبذول فرمودند و با راهنماییها و نظارت دقیق ایشان عملاً وقت مفید پروژه، افزایش قابل ملاحظه ای یافت،صمیمانه سپاسگزارم. گر چه می دانم با این زبان قاصر نمی توانم آن گونه که شایسته است قدردان محبتهای بی دریغ ایشان باشم. از آقایان دکتر قوجه بکلوکه افتخار شاگردیشان را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد داشتم- و دکتر بخشایی که داوری پایان نامه را پذیرفتند و نیز از آقای دکتر منتظری ریاست محترم دانشکده برق و کامپیوتر که به نمایندگی از تحصیلات تکمیلی دانشکده، در جلسه سمینار پایان نامه از حضورشان بهره مند شدیم بسیار متشکرم و بر ایشان آرزوی موفقیت روز افزون دارم. از آقای دکتر دوست حسینی مسئول محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده و نیزاز سرکار خانم دیباجی کهدراسنای تنظیم صحیح پایان نامه و انجام امور آموزشی راهنماییهای سودمند ارائه نمودند، قدردانی می نمایم. از کلیه اساتیدی که از محضر درسشان توشه های فراوان برگرفتم و نیز از تمامی دوستان و همچنین خانواده ام که همواره مشوق و یاریگرم بوده اند کمال تشکر را دارم و از درگاه ایزد منان پیمودن مدارج عالیتر را برای همگان، متضرعانه خواستارم.

محمد دانش

پائیز ۱۳۷۸،دانشگاه صنعتی اصفهان دانشکده برق وکامپیوتر

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات ،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان
است.

تقدیم به پیشگاه

ولی عصر (عج)

و نایب بر حقش امام امت (ره)

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱. کلیات ۲

۱-۲. روند ارائه مطالب ۵

فصل دوم: سیستمهای منطقی فازی

۲-۱. مقدمه ۶

۲-۲. تعاریف مقدماتی ۷

۲-۳. استلزام فازی ۹

۲-۴. استنتاج فازی ۱۲

۲-۵. فازی کننده ۱۴

۲-۶. نافازی کننده ۱۶

۲-۶-۱. نافازی کنندهٔ مرکز ثقل ۱۶

۲-۶-۲. نافازی کنندهٔ متوسط مرکز و یا ارتفاع ۱۷

۲-۶-۳. نافازی کنندهٔ ارتفاع تعدیل یافته ۱۸

۲-۶-۴. نافازی کنندهٔ ماکزیمم ۱۸

۲-۷. انواع قوانین کنترل فازی ۱۹

۲-۸. توابع پایه فازی و توابع پایه شعاعی گوسی ۲۰

فصل سوم: سیستمهای عصبی فازی

۳-۱. مقدمه ۲۴

۳-۲. تاریخچه و کاربردها ۲۵

۳-۳. بررسی یک شبکه عصبی فازی ۲۸

۳-۳-۱. ساختار شبکه ۲۹

۳-۳-۲. نورونهای فازی ۳۴

۳-۳-۳. توپولوژی شبکه عصبی فازی ۳۷

۳-۳-۴. الگوریتم یادگیری ۳۹

۳-۴. شبیه سازی ۴۲

۳-۵. معرفی چند سیستم عصبی فازی وفقی ۴۹

۳-۵-۱. یک روش مدلسازی عصبی فازی وفقی ۴۹

۳-۵-۲. یک روش تنظیم بهنگام شبکه فازی عصبی ۵۳

۳-۵-۳. یک کنترل کننده وفقی بر اساس فازی عصبی ۵۷

۳-۵-۴. نمونه ها و کاربردهای دیگر ۶۱

فصل چهارم: کنترل فازی وفقی

۴-۱. مقدمه ۶۲

۴-۲. کنترل فازی وفقی مستقیم ۶۴

۴-۲-۱. اهداف کنترل ۶۵

۴-۲-۲. تقریب فازی سیگنال کنترل بهینه ۶۵

۴-۲-۳. پایداری کنترل کننده و قانون تطبیق ۶۷

۴-۲-۴. محاسبهٔ سیگنال کنترل ناظر ۶۸

۴-۳. کنترل فازی وفقی غیر مستقیم ۶۸

۴-۳-۱. تقریب فازی ضرایب مجهول ۶۹
۴-۳-۲ محاسبهٔ سیگنال کنترل ۷۰
۴-۳-۳. قانون تطبیق مراکز ثقل توابع عضویت خروجی ۷۱
۴-۳-۴. بررسی همگرایی سیستم ۷۲
۴-۴. کنترل فازی وفقی بر اساس تقریب فازی تابع سیستم ۷۳
۴-۴-۱. ساختار کنترل کننده ۷۳
۴-۴-۲. خطای تقریب فازی تابع سیستم و محاسبه سیگنال کنترل ۷۴
۴-۴-۳. قانون تطبیق $\hat{\theta}$ و $\hat{\varepsilon}_d$ ۷۶
۴-۵. کنترل فازی وفقی مستقیم / غیر مستقیم ترکیب شده ۷۷
۴-۵-۱. طراحی کنترل کننده فازی ۷۷
۴-۵-۲. طراحی قانون تطبیق..... ۷۸
۴-۶. کنترل کننده فازی وفقی ترکیبی ۸۰

فصل پنجم طراحی یک کنترل کننده فازی عصبی وفقی

۵-۱. مقدمه ۸۳
۵-۲. سیستم غیر خطی تحت کنترل ۸۴
۵-۳. اهداف کنترل ۸۴
۵-۴. طراحی سیستم کنترل ۸۵
۵-۴-۱. مدلسازی g , f ۸۶
۵-۴-۲. طراحی قانون تطبیق ۹۰
۵-۵. کنترل نظارتی ۹۲
۵-۶. ویژگیهای کنترل کننده ۹۵
۵-۷. شبیه سازی ۹۷

۵-۷-۱. معادلات سیستم پاندول معکوس ۹۸
۵-۷-۲. پارامترهای کنترل کنندهٔ وفقی ۹۸
۵-۷-۳. شرایط اولیه سیستم و ورودیها ۱۰۰
۵-۷-۴. پارامترهای آموزش سیستم عصبی فازی ۱۰۰
۵-۷-۵. بررسی شبیه سازیها ۱۰۰

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۴-۱. نتیجه گیری ۱۲۶
۴-۲. پیشنهادها ۱۲۷

مراجع ۱۲۹

چکیده

امروزه تحقیقات علمی گسترده ای در زمینه افزایش قابلیتهای سیستمهای هوشمند صورت پذیرفته است. در این پایان نامه، به معرفی یک شبکه فازی عصبی وفقی جدید که یک نمونه از این سیستمهای هوشمند است، می پردازیم. و به کمک آن، روشی را جهت طراحی کنترل کننده های فازی عصبی وفقی ارائه می نماییم. در این روش طراحی، تنظیم پارامترهای کنترل کننده در ابتدا به صورت غیر بهنگام با روش پس انتشار خطا و سپس به صورت بهنگام با قوانین تطبیقی که از روش ترکیب لیاپونف بدست می آید، انجام می گردد. در حالت غیر بهنگام، با استفاده از یک الگوریتم، توابع سازندهٔ سیستم غیر خطی مدلسازی می شود. برای کنترل کننده فازی عصبی وفقی پیشنهادی، تحت شرایطی اثبات می گردد که خطای تعقیب به سمت صفر میل می کند. نشان می دهیم که با این روش تنظیم بهنگام پارامترها، سیستم در مقابل نویز اندازه گیری، اختلال ورودی و نامعینیها به طور قابل ملاحظه ای مقاوم می شود. تنظیم غیر بهنگام مقادیر اولیه پارامترهای کنترل کننده، باعث می شود که در حین عمل تطبیق، همگرایی پارامترها به مقادیر مطلوبشان با سرعت بیشتری صورت گیرد، همچنین کنترل تعقیب به شکل دقیق تری انجام شود. در انتها، از طریق شبیه سازی بر روی یک سیستم پاندول معکوس، به مقایسه کنترل کنندهٔ پیشنهادی و کنترل فازی وفقی غیر مستقیم وانگ می پردازیم. نتایج حاصل، مؤید ویژگیهای مطرح شده برای کنترل کننده پیشنهادی است.

فصل اول

مقدمه

۱-۱. کلیات

انسان موجودی است که حتی از دیدگاه مادی اشرف مخلوقات عالم است، و نشانهٔ این مدعا، تسخیر دنیا به دست انسان است. وجه تمایز اصلی انسان با سایر موجودات، سیستم تصمیم گیری و کنترل هوشمندانه اوست. بنابراین، اگر این قابلیتها را به نوعی به سیستمهای کنترل منتقل نماییم، انتظار حصول یک عملکرد بسیار خوب، منطقی خواهد بود. از جمله توانمندیهای انسان، استدلال تقریبی، توانایی آموزش و فراگیری، تطبیق یافتن با محیط اطراف و ... است. هر چه این رفتار و قابلیتها در یک سیستم کنترل بیشتر پیاده شود، عملکرد سیستم بهبود بیشتری می یابد. با این استدلال، تاکنون تلاشهای زیادی در زمینهٔ القاء این تواناییها به محصولات ساخت بشر صورت گرفته است که فصلهای جدیدی را در عرصه علوم و مهندسی گشوده است. سیستمهای کنترل هوشمند و وفقی نمونه هایی از این نوع می باشند.

گر چه مسائل مربوط به کنترل هوشمند و کنترل وفقی از چند دهه قبل مورد بحث بوده است، اما شدت توجه و گرایش محققین و نتیجتاً عمده پیشرفت این روشها در سالهای اخیر به وقوع پیوسته است. علت این امر، حصول پیشرفتهای قابل ملاحظه تئوریک، تحقق عملی موفقیت آمیز بکارگیری این

روشها در کارهای صنعتی و ساخت برخی محصولات، و امکان دسترسی بـه محاسـبات ارزان (بـه خـاطر پیشرفتهای سخت افزاری) بوده است. از سوی دیگر، با هدف حصول قابلیتهای بیشتر در سیستم کنترل، گرایش به سمت تلفیق این روشـها رونـد صعـودی داشته است. به طور مـثال، در زمینـــه عصبـی فـازی می توان به [۱ تا ۱۹] اشاره کرد.

کنترل وفقی در مقابله با نامعینیها (حتی نامعینیهای بـزرگ و متغـیر بـا زمـان) از توانـایی خوبـی برخوردار است. همچنین در برخی کاربردها مشاهده شده اسـت کـه امکـان دارد یـک اسـتراتژی کـه در کنترل غیر وفقی کارآیی خوبی نداشته است در کنترل وفقی موفقیت آمیز باشد [۲۰].

کنترل فازی وفقی نمونه ای از ترکیب روشهای کنترل هوشمند و وفقی است. کنترل کننده هـای فازی وفقی دارای ساختار غیر خطی خاصی هستند که برای سیسـتمهای مختلـف عمومیـت دارنـد. امـا ساختار کنترل کننده های وفقی متعارف از سیستمی به سیستم دیگر تغییر می کند. علاوه بر این، وجه تمایز اصلی کنترل کننده های فازی وفقی از کنترل کننده های وفقی متعارف این اسـت کـه در آن هـا دانش انسانی، در مورد دینامیکهای سیستم و استراتژیهای کنترل قابل استفاده است.

یک نوع از کنترلهای فازی وفقی، روش غیر مستقیم وانگ[1] است که در آن از روش خطـی سـازی فیدبک[2] استفاده می گردد. در کنترل وفقی غیر مستقیم، پارامترهای سیستم تخمین زده می شـود و در طراحی به جای پارامترهای واقعی بکار گرفته می شوند. در واقع اطلاعات زبانی به صورت دانش سیستم[3] است و مدل سیستم را توصیف می نماید. مشاهده می شود که اگر پارامترهای اولیه کنترل کننده وفقی با استفاده از تجربیات فرد خبره به نحو مناسبی انتخاب شده باشد، سرعت همگرایی پارامترها به مقـادیر بهینه شان و نیز سرعت همگرایی پاسخ به مسیر مرجع به طور قابل ملاحظه ای افزایـش مـی یـابد. امـا مسأله ای که وجود دارد آن است که تعیین این پارامترها برای سیستمهای بزرگ-خصوصاً بیش از سـه ورودی- به سادگی امکان پذیر نیست. همچنین پارامترهایی کـه فـرد خـبره مشـخص مـی کنـد لزومـاً مقادیر بهینه ای نمی باشند. برای مثال، مشاهده می گردد که در واحدهای تولیدی با تغییر اپراتورهـا از شیفتی به شیفت دیگر میزان تولید تغییر می کند (به طور نمونه، در مورد آسیاب سیمان [۲۰]). بنابراین به نظر می رسد که یک ایدهٔ مناسب، اضافه کردن مکانیزمی برای تنظیم پارامترهای اولیه می باشد.

---

1 - Wang 2- Feedback Linearization 3- Plant knowledge

برای تنظیم پارامترهای کنترل کننده راههای مختلفی وجـود دارد. یـک راه اسـتفاده از الگوریتـم ژنتیک می باشد، اما این روش، پیچیدگی و مـیزان محاسـبات و بنـابراین زمـان حـل مسـأله را افزایـش می دهد. همچنین از دانش فرد خبره نمی تواند استفاده کند.

راه دیگر، بکارگیری سیستمهای عصبی فازی است. این سیستمها آموزش پذیرند و امکان پردازش موازی در آنها وجود دارد. به علاوه، در برخی از آنها امکان استفاده از توصیفهـای کلامـی شـخص خـبره وجود دارد. وجود قابلیت اخیر باعث می شود که پارامترهای تنظیم، نزدیک به مقادیر بهینـه شـان قـرار گیرند. و سرعت آموزش نسبت به شبکه های عصبی معمولی به طور چشمگیری افزایش یابد.

در این پایان نامه، ابتدا یک شبکه عصبی فازی بررسی می گردد که علاوه بر داشتن ویژگیهایی که ذکر شد، خاصیت تقریب زنی عمومی نیز دارد. چنین خاصیتی، این امکان را به شبکه مـی دهـد کـه در کنترل فازی عصبی وفقی برای سیستمهای غیر خطی بکار برده شود. تنظیم پارامترهای کنـترل کننـده فازی عصبی وفقی در دو مرحله صورت می پذیرد: در مرحله اول به صورت غیر بهنگام[1] با روش آمـوزش پس انتشار خطا[2]، در مرحله بعد به صورت بهنگام[3] با قوانینی که از روش ترکیـب لیـاپونف[4] - بـا حداقـل کردن یک تابع لیاپونف-بدست آمده است. در روش ترکیب لیاپونف، ابتدا یک تابع لیـاپونف مناسـب کـه خطای تقریب پارامترهای سیستم و خطای تعقیب در آن ملحوظ شده است، تعریـف مـی گـردد. سـپس قوانین تطبیق به گونه ای بدست می آید که مشتق تابع لیاپونف منفی شود و به ایـن ترتیـب بـا کـاهش خطای تقریب پارامترها و خطای تعقیب به هدف کنترل که تعقیب دقیق مسیر مرجع است، دست یابیم.

یکی از مسائل مهم و اساسی در سیستمهای کنترل، مسأله پایداری اسـت. چـرا کـه بـدون وجـود چنین شرطی، حضور کنترل کننده عملاً سودی نخواهد بخشید. بنابراین در هنگام طراحی بـرای حفـظ پایداری سیستم باید ملاحظاتی در نظر گرفته شود. یک راه حل، بکارگیری روشهای کنترل مقاوم مـانند کنترل حالت لغزشی[5] در طراحی کنترل کنندهٔ فازی وفقی است. به علت این کـه معمـولاً بـا ایـن کـار، متغیرهایی که باید به صورت بهنگام تنظیم شوند افزایش می یابد، حجم محاسبات بیشـتر خواهـد شـد. یک راه دیگر، استفاده از کنترل نظارتی[6] است. به این صورت که اگر سیستم میل به ناپایداری پیدا کنـد

---

1 - Off-Line 2- Back Propagation 3- On-Line 4- Lyapunov Synthesis Approach

5-Sliding Mode 6-Supervisory Control

کنترلی دیگر- به نام سیگنال ناظر- به سیگنال خروجی کنترل کنندهٔ وفقی اضافه می شود و از ناپـایدار شدن سیستم جلوگیری می کند. در حالتی که سیستم پایدار است، کنترل نظارتی عمل نمی کند یعنـی سیگنال کنترل ناظر صفر خواهد بود. بنابراین به نظر می رسد کـه پیچیدگـی سیسـتم کنـترل و مـیزان محاسبات بهنگام در این روش کمتر است.

۱-۲. روند ارائه مطالب

هدف این پایان نامه، ارائه یک روش جدید جهت طراحی کنترل کننده های فازی عصبی وفقی بـر مبنای تلفیق سیستم عصبی فازی و کنترل فازی وفقی است. بر این اساس، روند بیـان مبـاحث بـه ایـن صورت خواهد بود که: در فصل دوم، مبانی منطق فازی و سیستمهای منطقی فازی، همچنین توابع پایـه فازی و خواص آنها را بیان می کنیم. در فصل سوم، ابتدا تاریخچهٔ مختصری از سیستمهای عصبی فـازی و نیز برخی از کاربردهای این گونه سیستمها را مطرح می نماییم. سپس، یک شبکهٔ فازی عصبی جدیـد را مورد بررسی قرار داده و ساختار و نحوهٔ آموزش آن را تشریح می کنیم. ایدهٔ اصلـی ایـن شـبکه فـازی عصبی، حل مسأله انتخاب عملگرهای فازی بهینه می باشد. ثابت می کنیم شبکه مذکور قادر اسـت هـر تابع پیوسته حقیقی را بر روی یک مجموعه فشـرده تقریـب بزنـد. در ادامـهٔ ایـن فصـل، نمونـه هـایی از سیستمهای عصبی فازی وفقی که در مسائل مدلسازی و کنترل بکار می روند را عنوان می نماییم.

فصل چهارم که به بررسی کنترل فازی وفقـی اختصـاص یافتـه اسـت. مـروری بـر چنـد نمونـه از سیستمهای کنترل فازی وفقی و مطالعه معماری، نحوه حصول قوانیـن وفـق دادن و مسـأله پـایداری در این سیستمها می باشد.

در فصل پنجم، روش جدیدی را در زمینهٔ طراحی کنترل کننـده هـای فـازی عصبـی وفقـی ارائـه خواهیم نمود. در این فصل ساختار کنترل کننده، نحوهٔ آموزش و تطبیـق پارامترهـای تنظیـم و مبحـث پایداری سیستم را بررسی و قضیه ای را در مورد خواص کنترل کننده پیشنهادی اثبات می کنیم. سپس ویژگیها و مزایای این سیستم کنترل را با شبیه سازی روی یک مسأله پـاندول معکـوس نشـان خواهیـم داد. در فصل ششم نیز ضمن بررسی نتایج، پیشنهادهایی را ارائه خواهیم نمود.