بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

طراحی بهینه کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح با استفاده از کنترل فازی

از:

مریم حنیف

استاد راهنما:

دکتر نادر نریمان‌زاده

مرداد ۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

به پاس سال‌ها سخت کوشی بی دریغ و شکیبایی بی پایان

سپاس گزاری و تشکر صمیمانه از

استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر نادر نریمان زاده که تحصیل و پژوهش در حضور ایشان همواره برایم افتخار بزرگی بوده است و انجام این پروژه از ابتدا تا پایان مرهون دقت نظر و راهنمایی ایشان است.

و همچنین

آقای مهندس وحید مجد آبادی فراهانی، که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه از کمک و همراهی بی دریغ ایشان بهره مند بوده ام.

فهرست مطالب

چکیده فارسی ..... ط
چکیده انگلیسی ..... ی
۱- مقدمه ۲
۱-۱- معادلات دیفرانسیل از مرتبه غیر صحیح ۳
۱-۲- کنترلر ***PID*** ۳
۱-۳- کنترل فازی ۴
۱-۴- الگوریتم ژنتیک ۵
۱-۵- بهینه سازی چند هدفی ۵
۱-۶- مطالب ارائه شده در این پایاننامه ۶
۲-معادلات با مرتبه غیرصحیح ۸
۲-۱- مقدمه‌ای بر ریاضیات مرتبه غیر صحیح ۸
۲-۱-۱- تعاریف پرکاربرد مشتقات و انتگرال های مرتبه ناصحیح ۹
۲-۱-۲- خواص محاسبات مرتبه غیر صحیح ۱۲
۲-۲- نتیجه گیری ۱۳
۳ - کنترل فازی ۱۵
۳-۱- فلسفه و تاریخ فازی ۱۵
۳-۲- متغیرهای گفتاری ۱۶
۳-۳- گزاره های منطق کلاسیک(دو ارزشی) ۱۷
۳-۴- گزاره های فازی ۱۷
۳-۵- ساختار سیستم های فازی ۱۹
۳-۵-۱- فازی ساز ۱۹
۳-۵-۲- قطعی سازی ۲۲
۳-۶- طراحی عضوهای فازی توسط پارامترهای فضایی ۲۵
۳-۷- طراحی قوانین فازی ۲۸
۳-۷-۱- طراحی قوانین خوش ترکیب ۲۸
۳-۷-۲- روش طراحی قوانین مخلوط ۲۹
۳-۸- ساختار کنترل کننده فازی ۲۹
۳-۹- نتیجه گیری ۳۰
۴- کنترل PID فازی با مرتبه غیر صحیح ۳۲
۴-۱- کنترل PID با مرتبه غیر صحیح ۳۲
۴-۲- کنترل انتگرالی ۳۳
۴-۲-۱- کنترل مشتقی ۳۳

۴-۲-۲- جبرانسازهای پیشفاز و پسفاز ۳۳
۴-۳- ساختار کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح ۳۳
۴-۳-۱- عبارت تناسبی ۳۳
۴-۳-۲- عبارت انتگرالی ۳۴
۴-۳-۳- عبارت مشتقی ۳۴
۴-۳-۴- مرتبه انتگرال گیری ۳۴
۴-۳-۵- مرتبه مشتق گیر ۳۵
۴-۴- کنترلر PID فازی با مرتبه غیر صحیح ۳۵
۴-۵- نتیجه گیری ۳۸
۵ – الگوریتم ژنتیک ۴۰
۵-۱- مقدمه ۴۰
۵-۲- اصول محاسبات الگوریتم های تکاملی ۴۰
۵-۳- الگوریتم های ژنتیکی ۴۱
۵-۴- رمز گذاری،جهش و پیوند ۴۲
۵-۴-۱- فضای جستجوی عددی و رشته های باینری ۴۲
۵-۴-۲- رشته های باینری ۴۲
۵-۴-۳- عملگر پیوند ۴۳
۵-۴-۴- عملگر جهش ۴۴
۵-۵- تولید جمعیت اولیه ۴۵
۵-۶- الگوریتم های انتخاب ۴۵
۵-۶-۱- انتخاب براساس مکانیزم چرخ گردان ۴۶
۵-۷- نتیجه گیری ۴۷
۶ – بهینه‌سازی ۴۹
۶-۱- مقدمه ۴۹
۶-۲- ویژگی‌های مسائل بهینه سازی ۵۰
۶-۳- روش‌های بهگزینی ۵۱
۶-۳-۱- راهبردهای کاهشی ۵۲
۶-۳-۲- الگوریتم‌های تکاملی ۵۲
۶-۴- بهینه‌سازی چندهدفی به کمک الگوریتم ژنتیک ۵۳
۶-۴-۱- مفاهیم بهینه‌سازی چندهدفی ۵۳
۶-۴-۲- الگوریتم ژنتیک ۵۵
۶-۴-۳- پیاده سازی بهینه‌سازی چندهدفی در الگوریتم ژنتیک ۵۸
۶-۴-۴- روند بهینه‌سازی در Modified NSGA II ۵۹
۶-۵- نتیجه گیری ۶۲
۷ – روش کنترلی پیشنهادی ۶۴
۷-۱- مقایسه کنترلر PID با مرتبه صحیح و کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح، $PI^{\gamma}D^{\lambda}$ ۶۴
۷-۲- تشریح روش کنترلی پیشنهاد شده در این پایان نامه ۶۷

۷-۳- طراحی فازی ۶۹
۷-۳-۱- طراحی توابع عضویت برای خروجی ها و ورودی های فازی ۶۹
۷-۳-۲- طراحی قوانین فازی ۷۰
۷-۴- بهینه سازی ۷۳
۷-۵- نتایج مدل سازی ۷۴
۷-۶- نتیجه گیری ۸۹
مراجع ۹۰

فهرست شکل‌ها

شکل (۲-۱) - انتگرال گیری به شیوه Riemann - Liouville ۱۰
شکل (۲-۲) - دیاگرام بلوکی نحوه مشتق گیری به شیوه LHD ۱۱
شکل (۲-۳) - مشتق گیری از تابع f(x) از مرتبه ۲/۳ با استفاده از تعریف LHD ۱۱
شکل (۲-۴) - مشتق گیری از تابع f(x) با استفاده از تعریف caputo ۱۲
شکل (۳-۱) - مجموعه فازی بیانگر بلندی قد انسان [۴۷] ۱۶
شکل (۳-۲) - ساختار سیستم های فازی ۱۹
شکل (۳-۳) - محدوده ورودی فازی بر مبنای جوان بودن [۴۶] ۲۰
شکل (۳-۴) - تقسیم محدوده ورودی فازی بر مبنای جوانی و میانسالی [۴۶] ۲۱
شکل (۳-۵) - آرایش های متفاوت از عضوهای فازی ۲۱
شکل (۳-۶) - شکل نمادین از قطعی ساز مرکز ثقل [۴۵] ۲۲
شکل (۳-۷) - شکل نمادین از قطعی ساز میانگین مراکز [۴۵] ۲۳
شکل (۳-۸) - عضوهای فازی [۴۶] ۲۳
شکل (۳-۹) - قوانین متداول فازی (well-form) [۴۶] ۲۴
شکل (۳-۱۰) - درجه عضو فازی [۴۶] ۲۵
شکل (۳-۱۱) - ناحیه قطعی سازی شده [۴۶] ۲۵
شکل (۳-۱۲) - آرایش عضو فازی i ام توسط پارامتر های فضایی ۲۶
شکل (۳-۱۳) - طر احی عضوهای فازی توسط پارامترهای فضایی ۲۷
شکل (۳-۱۴) - ساختار کنترل کننده فازی ۲۹
شکل (۴-۱) - ساختار کنترلر FOPID ۳۵
شکل (۴-۲) - توابع عضویت ورودی های فازی (خطا و شیب خطای پاسخ) بر حسب پارامتر فضایی ۳۶
شکل (۴-۳) - توابع عضویت خروجی های فازی (ضرایب و توان های کنترلر) بر حسب پارامترهای فضایی ۳۷
شکل (۵-۱) - ژنومی دارای سه پارامتر که شامل ۸ بیت برای هر پارامتر میباشد ۴۳
شکل (۵-۲) - عملگر پیوند یک نقطهای ۴۴
شکل (۵-۳) - عملیات جهش روی یک کروموزوم ۴۵
شکل (۶-۱) - دو تابع هدف f1 وf2 برای بهینه سازی چند هدفی ۵۵
شکل (۶-۲) - روند اجرای الگوریتم ژنتیک ۵۷
شکل (۶-۳) - الگوریتم زیربرنامه FNDF ۶۰
شکل (۶-۴) - الگوریتم زیربرنامه FNDS ۶۰
شکل (۶-۵) - الگوریتم زیر برنامه ε-elimination ۶۱
شکل (۷-۱) - نمودار پرتوی جمعیت برتر آخرین نسل تولید شده (بهینه سازی ضرایب کنترلر PID مرتبه صحیح) ۶۵
شکل (۷-۲) - نمودار مقایسه ای پاسخ سیستم $\frac{1}{0.8s^{2.2}+0.5s^{0.9}+1}$ به ازای دو کنترلر PID و $PI^{\gamma}D^{\lambda}$ [۵۹] ۶۶
شکل (۷-۳) - نمودار مقایسه ای سیگنال کنترلی ناشی از دو کنترلر PID و $PI^{\gamma}D^{\lambda}$ طراحی شده برای سیستم

$\frac{1}{0.8s^{2.2}+0.5s^{0.9}+1}$ ۶۶
شکل (۷-۴) - نمودار مقایسه ای سیگنال کنترلی ناشی از دو کنترلر PID و $PI^{\gamma}D^{\lambda}$ طراحی شده برای سیستم $\frac{1}{0.8s^{2.2}+0.5s^{0.9}+1}$ در ۰/۵ ثانیه اول ۶۷
شکل (۷-۵) - توابع عضویت برای تعریف خطای پاسخ، ورودی اول فازی ۶۹
شکل (۷-۶) - صفحه قواعد فازی ۷۰
شکل (۷-۷) - تقسیم بندی صفحه قواعد فازی ۷۱
شکل (۷-۸) - نمودار پرتوی جبهه برتر آخرین نسل تولید شده (بهینه سازی جهت طراحی کنترلر $PI^{\gamma}D^{\lambda}$ با استفاده از قواعد فازی) ۷۴
شکل (۷-۹) - توابع عضویت ورودیهای فازی (خطا و مشتق خطا) به ازای مقادیر بهینه Ps برای هر کدام ۷۵
شکل (۷-۱۰) - توابع عضویت خروجی های فازی به ازای مقادیر بهینه Ps برای هر کدام ۷۶
شکل (۷-۱۱) - صفحه تعیین کننده قوانین فازی برای خروجی اول فازی : ضریب تناسبی کنترلر . زاویه بهینه : ۳۴/۷۵ درجه .. ۷۷
شکل (۷-۱۲) - صفحه تعیین کننده قوانین فازی برای خروجی دوم فازی : ضریب مشتقی کنترلر . زاویه بهینه : ۷۱/۹۹ درجه.. ۷۸
شکل (۷-۱۳) - صفحه تعیین کننده قوانین فازی برای خروجی سوم فازی : ضریب انتگرالی کنترلر. زاویه بهینه : ۳۳/۸۷ درجه ۷۸
شکل (۷-۱۴) - صفحه تعیین کننده قوانین فازی برای خروجی چهارم فازی : مرتبه مشتقی کنترلر. زاویه بهینه : ۵۱/۵۱ درجه. ۷۹
شکل (۷-۱۵) - صفحه تعیین کننده قوانین فازی برای خروجی پنجم فازی : مرتبه انتگرالی کنترلر. زاویه بهینه : ۲۴/۸۵ درجه. ۷۹
شکل (۷-۱۶) - سطح فازی نشان دهنده وضعیت خروجی اول فازی : ضریب تناسبی کنترلر ۸۰
شکل (۷-۱۷) - سطح فازی نشان دهنده وضعیت خروجی دوم فازی : ضریب مشتقی کنترلر ۸۰
شکل (۷-۱۸) - سطح فازی نشان دهنده وضعیت خروجی سوم فازی : ضریب انتگرالی کنترلر ۸۱
شکل (۷-۱۹) - سطح فازی نشان دهنده وضعیت خروجی چهارم فازی : مرتبه مشتقی کنترلر ۸۱
شکل (۷-۲۰) - سطح فازی نشان دهنده وضعیت خروجی پنجم فازی : مرتبه انتگرالی کنترلر ۸۱
شکل (۷-۲۱) - نمودار پاسخ سیستم به معادله $\frac{1}{0.8s^{2.2}+0.5s^{0.9}+1}$ با استفاده از کنترلر بهینه $PI^{\gamma}D^{\lambda}$ فازی ۸۲
شکل (۷-۲۲) - نمودار مقایسه‌ای پاسخ سیستم برای کنترلر طراحی شده و پاسخ مرجع [۵۹] ۸۲
شکل (۷-۲۳) - نمودار سیگنال کنترلی سیستم به معادله $\frac{1}{0.8s^{2.2}+0.5s^{0.9}+1}$ ۸۳
شکل (۷-۲۴) - نمودار مقایسه ای سیگنال کنترلی به دست آمده از روش پیشنهادی با مرجع [۵۹] ۸۳
شکل (۷-۲۵) - نمودار مقایسه ای سیگنال کنترلی به دست آمده از روش پیشنهادی با مرجع [۵۹] در $0<t<0.5$ ۸۴
شکل (۷-۲۶) - رفتار ضریب تناسبی در طول زمان کنترل ۸۵
شکل (۷-۲۷) - رفتار ضریب مشتقی در طول زمان کنترل ۸۵
شکل (۷-۲۸) - رفتار ضریب انتگرالی در طول زمان کنترل ۸۵
شکل (۷-۲۹) - رفتار مرتبه مشتق در طول زمان کنترل ۸۶
شکل (۷-۳۰) - رفتار مرتبه انتگرال در طول زمان کنترل ۸۶
شکل (۷-۳۱) - نمودار مقایسه‌ای پاسخ سیستم به ازای کنترلرهای PID با مرتبه صحیح و PID با مرتبه غیرصحیح و PID بهینه فازی با مرتبه غیرصحیح ۸۷
شکل (۷-۳۲) - نمودار مقایسه‌ای سیگنال کنترلی به ازای کنترلرهای PID با مرتبه‌صحیح و PID با مرتبه غیرصحیح و PID بهینه فازی با مرتبه غیرصحیح ۸۷
شکل (۷-۳۳) - نمودار مقایسه‌ای سیگنال کنترلی به ازای کنترلرهای ۱. PID بهینه با مرتبه صحیح و ۲. PID بهینه با مرتبه غیر صحیح و ۳. PID بهینه فازی با مرتبه غیرصحیح در $0<t<0.5$ sec ۸۸

فهرست جدول‌ها

جدول (۵-۱) پنج جمعیت نمونه و برازندگی مربوط به آن‌ها ۴۶
جدول (۷-۱) پارامترهای دو کنترلر بهینه PID با مرتبه صحیح و غیر صحیح [۵۹] برای سیستم معادله ۷-۱ ۶۵
جدول (۷-۲) مقایسه پارامترهای مهم پاسخ سیستم به ازای دو کنترلر PID و $PI^{\gamma}D^{\lambda}$ روابط ۷-۳ و ۷-۴ ۶۷
جدول (۷-۳) معرفی علائم به‌کار گرفته شده طراحی فازی ۷۰
جدول (۷-۴) معرفی متغیرهای طراحی برای بهینه سازی ۷۳
جدول (۷-۵) مقادیر بهینه متغیرهای طراحی و مقدار کمینه توابع هدف در نقطه مصالحه ۷۵
جدول (۷-۶) قواعد فازی مربوط به خروجی اول فازی: ضریب تناسبی کنترلر ۷۷
جدول (۷-۷) قواعد فازی مربوط به خروجی دوم فازی: ضریب مشتقی کنترلر ۷۸
جدول (۷-۸) قواعد فازی مربوط به خروجی سوم فازی: ضریب تناسبی کنترلر ۷۸
جدول (۷-۹) قواعد فازی مربوط به خروجی چهارم فازی: مرتبه مشتقی کنترلر ۷۹
جدول (۷-۱۰) قواعد فازی مربوط به خروجی پنجم فازی: مرتبه انتگرالی کنترلر ۷۹
جدول (۷-۱۱) مقایسه پارامترهای مهم پاسخ سیستم به ازای کنترلر $PI^{\gamma}D^{\lambda}$[۵۹] و کنترلر پیشنهادی ۸۴
جدول (۷-۱۲) مقایسه عملکرد سه کنترلر طراحی شده ۸۸

نشانه‌ها

FOPID : کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح

λ : مرتبه مشتق گیر در کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح

γ : مرتبه انتگرال گیر در کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح

چکیده فارسی

طراحی بهینه کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح با استفاده از کنترل فازی

مریم حنیف

کنترلرهای PID پیشینه‌ای بسیار طولانی در مهندسی کنترل داشته و به علت سادگی در طراحی در کنترل بسیاری از سیستم‌ها و فرآیندها کاربرد دارند. از این رو همواره تلاش‌های بسیاری برای طراحی روش‌هایی جهت بهبود و مقاوم‌تر کردن عملکرد آن‌ها صورت گرفته است. یکی از ایده‌هایی که می‌تواند منجر به بهبود عملکرد کنترلرهای PID گردد، استفاده از مرتبه‌های غیر صحیح برای عملگر مشتقی و انتگرالی این کنترلرها می‌باشد که در مقایسه با فرم کلاسیک PID که در آن این مراتب صرفاً یک می‌باشند، از عملکرد بهتر و انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است و محدوده وسیعی از طراحی را در اختیار طراح قرار می‌دهد. روش‌های کنترل فازی با به-کارگیری دانش افراد خبره امکان تنظیم کنترلرها را به شیوه‌ای ساده‌تر و قابل اعتمادتر فراهم ساخته‌اند. در این پایان‌نامه از منطق فازی شود. که این موضوع وجه تمایز این کار با سایر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه است. مسأله اصلی در مورد طراحی فازی طراحی توابع عضویت ورودی‌ها و خروجی‌ها و نیز طراحی قواعد فازی است. امروزه رایج‌ترین شیوه برای طراحی یک سیستم فازی برای کنترل استفاده از فرآیندهای بهینه‌سازی است. در این میان الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از شناخته شده‌ترین الگوریتم‌ها از میان الگوریتم‌های تکاملی مورد توجه فراوان بوده است. سیستم فازی طراحی شده برای تنظیم کنترلر در این پایان‌نامه، با استفاده از بهینه سازی چند هدفی توسط الگوریتم Modified NSGA II حاصل می‌گردد. در این پایان‌نامه توابع عضویت ورودی‌های فازی که خطا و مشتق خطای پاسخ می‌باشند و نیز خروجی‌های فازی که پنج پارامتر تعیین کننده $PI^{\gamma}D^{\lambda}$ هستند و هم‌چنین قواعد فازی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی مذکور طراحی می‌شوند.

بنابراین کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح با استفاده از کنترل فازی و الگوریتم ژنتیک طراحی و تنظیم می‌گردد.

کلید واژه :

کنترل PID، کنترل فازی، ریاضیات مرتبه غیر صحیح ، بهینه‌سازی چند هدفی، الگوریتم ژنتیک

Abstract

Pareto Optimum Design of Fuzzy Fractional PID Controller

Maryam Hanif

PID controllers have a long history in control engineering and are acceptable for many real applications due to their simplicity in architecture and therefore there is a continuous effort to improve their quality and robustness. One of the possibilities to improve PID controllers is to use fractional order controllers with non integer derivative and integration parts. This great flexibility makes it possible to design controllers with much better performance superior to those obtained with conventional (integer order) controllers, therefore preparing the designer with a vast design area.
Fuzzy control schemes by the use of the knowledge of experts make tuning of the controllers easier and more reliable and flexible. In this thesis optimal fuzzy logic is used to tune the controller parameters, which is the novelty of the work. The main problem with fuzzy control is how to design membership functions for inputs and outputs and also the fuzzy rules. Today the most popular way to design a fuzzy system for control is to use optimization procedures. Genetic algorithm as one of the best known algorithms among different evolutionary algorithms has gained significant attention in this field in recent years of control researches. Fuzzy system which is used to tune the controller parameters in this thesis is designed by the use of multi objective optimization with Modified NSGAII algorithm. Membership functions of fuzzy inputs which are error and change in error of the system response and outputs which are five design parameters of $PI^{\gamma}D^{\lambda}$ and also fuzzy rules are designed using the optimization algorithm mentioned above.
Therefore the fractional PID controller is designed and tuned by the use of fuzzy control and genetic algorithms.

Key words :
PID controller, Fuzzy Control, Fractional Calculus, Multi objective optimization, Genetic algorithms

فصل اول

مقدمه

Introduction

۱ – مقدمه

کنترلرهای PID از دیرباز، به دلیل داشتن خاصیت سهولت نسبی در تنظیم ضرایب، از کاربرد وسیعی برخوردار بوده‌اند. در این میان در طول سال‌های طولانی حضور کنترلر PID در علم کنترل، روش‌های بسیاری جهت تنظیم ضرایب این کنترلر طراحی و به کار گرفته شده است. در دهه اخیر معادلات و به طور کلی ریاضیات مرتبه غیر صحیح راه خود را به طراحی‌های کنترلی و از آن جمله یه طراحی کنترلرهای PID باز کرده است. انتخاب مرتبه‌های دلخواه غیر صحیح به جای مرتبه "یک" برای بخش‌های ..گیر و انتگرال‌گیر کنترلر با بالا بردن انعطاف پذیری طراحی افق وسیعی را در طراحی کنترلرهای PID گشوده است. در دهه اخیر شیوه‌های متنوعی برای تنظیم ضرایب یک کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح به کار گرفته شده و پژوهش‌های بسیاری در این زمینه انجام شده است. بسیاری از طراحان کنترلرهای PID با مرتبه غیر صحیح از انواع شیوه‌های بهینه سازی برای طراحی استفاده کرده و در پژوهش‌های انجام شده برتری کنترلرهای بهینه طراحی شده را به کنترلرهای با مرتبه صحیح نشان داده‌اند.

آنچه موضوع مورد بحث این پایان نامه را از پژوهش‌هایی که در گذشته در این زمینه انجام شده است، متمایز می‌سازد، به کارگیری منطق فازی برای تنظیم پارامترهای کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح است.

در این پایان نامه تلاش شده است تا از طراحی فازی به عنوان روشی برای تنظیم ضرایب کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح استفاده گردد. این طراحی با به کارگیری الگوریتم Modified NSGA II به عنوان یکی از الگوریتم‌های شناخته شده و موفق در میان الگوریتم‌های تکاملی صورت می‌گیرد. نتایج ارائه شده پس از طراحی کنترلر مورد نظر نیز حاکی از موفقیت شیوه مورد استفاده در این پایان نامه و قوت و برتری آن نسبت سایر روش‌های موجود است.

در این فصل توضیحات مختصری در مورد کلیات تشکیل دهنده این پایان‌نامه و مباحث اصلی مطرح شده در آن آمده است.

۱-۱- معادلات دیفرانسیل از مرتبه غیر صحیح

ریاضیات با مرتبه‌ی غیر صحیح بخشی از ریاضیات است که در ارتباط با مشتقات و انتگرال‌ها و در کل معادلات دیفرانسیلی از مرتبه‌ی دلخواه غیر صحیح است. از سال ۱۹۶۵ پس از سؤال هوپیتال در مورد مشتق‌گیری مرتبه‌ی غیر صحیح، لایپنیتز اولین کسی بود که در این مسیر آغاز به فعالیت کرد و برای مشتق‌گیری از توابع با مرتبه‌ی غیر صحیح تعریفی ارائه داد. پس از لایپنیتز فوریه اولین گام را در عمومی‌سازی تعاریف مربوط به مشتق‌گیری از توابع با مرتبه‌ی دلخواه ارائه کرد. همچنین دانشمندان دیگری تلاش‌های بسیاری برای وسعت دادن این حیطه از ریاضیات انجام دادند و هر کدام به نوبه‌ی خود تعاریف و فرمول‌هایی برای مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری از مرتبه‌ی غیر صحیح ارائه کردند. از آن جمله می‌توان به آبل، لیوویل و ریمان، گراندوالد و لتنیکوف، اولدهام و اسپینر و میلر و راث اشاره کرد که فرمول‌ها و تعاریف ارائه شده از جانب آنها در حقیقت معروفترین و کاربردی‌ترین تعاریف در حیطه‌ی مرتبه‌ی غیر صحیح هستند.

در دهه‌های اخیر به‌کارگیری و بررسی ریاضیات و معادلات مرتبه‌ی ناصحیح در حیطه‌ی کاری فیزیک‌دانان و مهندسین از سرگرفته شده است و در زمینه‌های کاربردی بسیار زیادی کاربرد روزافزون پیدا کرده است [۱]-[۳]. از آن جمله می‌توان به کاربردهای معادلات مرتبه‌ی غیرصحیح در کارهای مربوط به پردازش سیگنال و پژوهش‌های مربوط به مباحث الکترومغناطیسی و نیز مدل کردن سیستم‌های فیزیکی اشاره نمود[۴]-[۱۵]. هم‌چنین به‌کارگیری این محدوده از ریاضیات در تئوری‌های کنترلی در دهه‌های اخیر بیشتر شده است [۲]و [۱۶]- [۱۹].

در سال‌های اخیر پژوهشگران به این یافته رسیده‌اند که ریاضیات مرتبه‌ی ناصحیح می‌تواند مدل دقیق‌تر و جامع‌تری از فرآیندها و سیستم‌ها نسبت به ریاضیات مرتبه‌ی صحیح ارائه دهند. به طور ویژه کنترلرهایی که از معادلات دیفرانسیل مرتبه‌ی غیرصحیح استفاده می‌کنند عملکرد و مقاوم بودن بهتری نسبت به کنترلرهای مشابه با مرتبه‌ی صحیح دارند [۲۰]-[۲۳].

در این پایان نامه کنترلر PID مورد نظر دارای مرتبه غیر صحیح است و هدف ارائه روشی برای تنظیم ضرایب و توان‌های دلخواه غیر صحیح مشتقی و انتگرالی آن است.

۱-۲- کنترلر PID

کنترلرهای PID از دیرباز به دلیل سادگی در طراحی و عملکرد مطلوبشان در اغلب سیستم‌های کنترلی به ویژه کنترل‌های صنعتی به کار برده می‌شوند. امروزه نیز در اغلب سیستم‌های کنترلی کنترلرهای PID همچنان جایگاه خود را حفظ کرده‌اند. آنچه در طراحی این کنترلرها مدنظر است یافتن شیوه‌ای است که بتواند ضرایب کنترلر را در جهت بهبود عملکرد سیستم تحت کنترل تعیین کند. تاکنون روش‌های بسیاری برای تنظیم ضرایب این کنترلرها پیشنهاد و به کار گرفته شده است که از آن

جمله می‌توان به روش‌هایی چون c-c[1] ، زیگلرنیکولز، روش‌های تنظیم اتوماتیک آشتروم [۲۴] برای سیستم‌های تک ورودی و تک خروجی و نیز شیوه‌ی تنظیم اتوماتیک برای سیستم‌های چند ورودی و چند خروجی[۲۵] و روش‌های بسیار دیگری که در مقالات و مراجع در این زمینه آمده است، اشاره کرد.همچنین در سال‌های اخیر از شبکه‌های عصبی برای تنظیم پارامترهای کنترلر PID استفاده شده است[۲۸]-[۳۰]

یکی از موضوعاتی که می‌تواند منجر به انعطاف‌پذیری بیشتر وعملکرد بهتر کنترلرهای PID شود، در نظرگرفتن مرتبه‌های دلخواه غیرصحیح برای عملگرهای مشتقی و انتگرالی آن است.

در این پایان‌نامه کنترلر PID از مرتبه‌ی غیرصحیح معرفی و طراحی شده است که به سبب تفاوتی که در مرتبه‌ی مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر با کنترلر PID کلاسیک دارد، از انعطاف‌پذیری بالاتری در طراحی برخوردار بوده و محدوده‌ی وسیعتری از طراحی را در اختیار طراح قرار می‌دهد.

۱-۳- کنترل فازی

کنترل فازی با ایده‌ی استفاده از دانش و اطلاعات افراد خبره به جای به‌کارگیری و بررسی مدل صریح ریاضی سیستم‌ها روشی با کاربرد آسان‌تر و نتیجه‌ی مطلوب‌تر نسبت به بسیاری از شیوه‌های کنترلی دیگر را در علم کنترل ارائه کرده است. در این شیوه قواعد کنترلی در حقیقت از طریق ارائه استرتژی کنترلی زبانی حاصل شده از دانش و تجربه‌ی افراد خبره در قالب یک سیستم فازی به‌دست می‌آیند.

این قواعد، به‌طور مثال در مورد کنترلر PID، نحوه‌ی رفتار ضرایب کنترلر را برای حصول پاسخ بهتر و مطلوب‌تر از سیستم تحت کنترل تعیین می‌کنند.

مشکل اصلی کنترل فازی نداشتن یک تکنولوژی طراحی برای آن است. بیشتر قواعد فازی بر اساس دانش انسان است و بنابراین از شخصی به شخص دیگر برای عملکرد یکسان یک سیستم معین باهم متفاوت است. انتخاب قواعد مناسب فازی، توابع عضویت و تعریف آن‌ها بحث اصلی طراحی فازی می‌باشد. امروزه برای طراحی سیستم‌های فازی از الگوریتم‌های تکاملی استفاده می‌شود. دلیل عمده‌ی این انتخاب تعدد پارامترهای طراحی این سیستم‌ها می‌باشد. با توجه به روش و شیوه‌ی طراحی سیستم فازی و پارامترهای طراحی، می‌توان قوانین فازی را به صورت مجزا به عنوان ورودی‌های یک الگوریتم تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک در نظر گرفت و یا می‌توان پارامترهای فازی را به گونه‌ای طراحی کرد که همزمان آرایش عضوهای فازی و قوانین فازی با تعداد محدودی پارامتر طراحی شود. [۳۱]و[۳۲].

در این پایان‌نامه شیوه‌ای که برای تنظیم پارامترهای کنترلر PID به‌کار برده شده است، استفاده از قواعد فازی می‌باشد.

[1] - Cohen-Coon

۱-۴- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که از روند تکاملی جانداران در طبیعت الهام گرفته شده است، برای پیدا کردن مقدار کمینه (یا بیشینه) یک تابع در بازه مورد نظر ابتدا از تعدادی نقطه به طور تصادفی انتخاب می‌کند، که به این مجموعه جمعیت اولیه گفته می‌شود. سپس به کمک مکانیزم انتخاب سعی می‌شود که عضوها یا کروموزوم‌های بدتر از این جمعیت حذف شده و عضوهای بهتر جانشین آن‌ها شوند. در ادامه با انجام عملیات ژنتیکی مانند پیوند[1] و جهش[2] نسل جدیدی تشکیل می‌شود و عملیات انتخاب دوباره روی این جمعیت جدید انجام می‌گیرد و این حلقه ادامه به همین شکل تکرار می‌شود تا عضو بهینه به‌دست آید[۳۳].

در این پایان‌نامه طراحی سیستم فازی مورد نظر برای تنظیم ضرایب کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح با استفاده از یک فرآیند بهینه‌سازی با به‌کارگیری الگوریتم Modified NSGAII طراحی می‌شود.

۱-۵- بهینه سازی چند هدفی

در بهینه سازی چند هدفی طراح قصد دارد تا با تعریف چند تابع هدف و انتخاب تعدادی متغیرهای طراحی مرتبط به سیستم و تأثیرگذار در توابع مورد نظر، متغیرها را به سمتی ببرد که بهترین جواب‌ها را برای تمام توابع ارائه دهد. برای هر متغیر طراحی حدودی معلوم می‌شود که در واقع همان کران‌های بالا و پایین متغیر است که بر اساس شناخت طراح از سیستم معین می‌شود.

با توجه به این‌که در بهینه‌سازی چند هدفی به دلیل تضاد بعضی از توابع هدف دستیابی به جوابی که همه توابع هدف را به سمت مطلوبی ببرد عملاً ممکن نیست - یعنی شرایطی پیش می‌آید که یکی از توابع هدف به سمت مطلوبی رفته و دیگری در شرایط نامطلوب قرار می‌گیرد- می‌بایست به دنبال یک دسته جواب (پرتو) بهینه بود که در آن یک یا چند تابع هدف به شرایط مطلوب برسند و سایرین کم‌ترین نامطلوبی را داشته باشند که البته این مشکل می‌تواند با الگوریتم‌های تکاملی به‌خصوص الگوریتم ژنتیک مرتفع شود[۳۴]و[۳۵].

در مسائل بهینه‌سازی چند هدفی پس از تعیین بردار طراحی که شامل همه متغیرهای طراحی است، به راحتی می‌توان مجموعه‌ای از توابع هدف را تحت تعدادی قیدهای مساوی یا نامساوی، به‌طور هم‌زمان بهینه نمود. بنابراین فرآیند بهینه سازی چند هدفی شامل ناحیه قابل قبول طراحی است به‌طوری که قیدهای مساوی و نامساوی را ارضا کند.

در سال‌های اخیر فرآیندهای بهینه سازی مورد توجه بسیاری از محققین در علوم مختلف قرار گرفته اند. از جمله می‌توان به کاربرد آن در مهندسی کنترل اشاره نمود. طراحی بهینه سیستم‌های کنترلی به منظور دستیابی به سیستم‌هایی با عملکرد بالا از جمله کاربردهای الگوریتم‌های تکاملی به ویژه الگوریتم ژنتیک می‌باشد. به برخی از این طراحی‌های بهینه، در مراجع [۳۶]و[۳۷] اشاره شده است. در طراحی بهینه کنترلر، می‌توان توابع هدفی را انتخاب کرده و به کمک الگوریتم‌های تکاملی در فرآیندهای

[1] - crossover
[2] - mutation

بهینه سازی مقدار اکسترمم این توابع را پیدا نمود که منجر به دستیابی به کنترلرهای بهینه می‌شود. از جمله کاربردهای دیگر الگوریتم‌های تکاملی و الگوریتم ژنتیک، طراحی سیستم‌های کنترلی هوشمند نظیر کنترل‌های فازی و عصبی می‌باشد[۳۸]-[۴۲].

۱-۶- مطالب ارائه شده در این پایان‌نامه

مطالب ارائه شده در فصول مختلف این پایان‌نامه به شرح زیر است:

در فصل دوم تاریخچه مختصری از ریاضیات مرتبه غیر صحیح و پس از آن تعاریف رایج در این محدوده از ریاضیات برای مشتقات و انتگرال‌های مرتبه ناصحیح بیان می‌شود.

در فصل سوم ابتدا مفاهیم اولیه فازی بیان شده و موضوعات مربوط به کنترل فازی و طراحی سیستم فازی جهت تنظیم یک کنترلر ارائه می‌شود.

در فصل چهارم ابتدا توضیحاتی در مورد کاربرد و نیز خواص کنترلرهای PID ارائه شده و سپس شرحی از کنترلرهای PID با مرتبه غیر صحیح که حالتی کلی‌تر از مرتبه صحیح است آورده شده است. در این بخش نحوه عملکرد و تأثیرگذاری قسمت‌های مختلف یک کنترلر PID با مرتبه دلخواه غیر صحیح نیز بیان می‌شود. در بخش پایانی این فصل نحوه طراحی و تنظیم پارامترهای این کنترلر با استفاده از قواعد فازی بیان می‌گردد.

در فصل پنجم مقدمه‌ای از مباحث پایه‌ای الگوریتم‌های تکاملی ارائه شده است. الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از محبوب‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های تکاملی در این فصل توضیح داده می‌شود.

در فصل ششم مباحث بهینه سازی چندهدفی و تعاریف مربوط به پرتو[1] و پرتو غالب ارائه می‌شود. و در نهایت روش بهینه‌سازی مورد استفاده در این پایان‌نامه معرفی شده است.

در فصل پایانی نحوه اعمال کلیه مطالب ذکر شده در فصل‌های پیش‌تر بر سیستمی که از مرجع مرتبط با موضوع پایان‌نامه انتخاب شده است، ارائه می‌شود؛ بدین صورت که سیستمی فازی برای تنظیم ضرایب کنترلر PID با مرتبه غیر صحیح طراحی می‌شود که خود این سیستم فازی با استفاده از پارامترهایی طراحی شده است که توسط الگوریتم ژنتیک در جهت کمینه کردن توابع هدف مورد نظر به گونه‌ای بهینه تعیین می‌شوند. نتایج حاصل از این مدل‌سازی بیانگر عملکرد مطلوب و برتر شیوه بررسی شده در این پایان‌نامه نسبت به روش‌های ارائه شده‌ی دیگر است.

[1] -Pareto

فصل دوم

معادلات با مرتبه غیر صحیح

Fractional Equations