

بسم الله الرحمن الرحيم

هوش محاسباتی

کنترل فازی

تألیف:

دکتر محمد باقر جهان

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

یاسر شکری کلاندرق

دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

سال ۱۳۹۴

سرشناسه	منهاج، محمدباقر، ۱۳۳۸-
عنوان و نام گردآورنده	هوش محاسباتی: کنترل فازی / تألیف محمدباقر منهاج، یاسر شکری کلاندرق
مشخصات نشر	تهران: نهر دانش، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	۴۴۰ ص.: جدول، نمودار
شابک	: 978-600-5714-23-4
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: هوش مصنوعی
موضوع	: شبکه‌های عصبی (کامپیوتر)
شناسه ورود	: شکری کلاندرق، یاسر، ۱۳۶۷-
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۴ م/۹۳۳۵ Q
رده‌بندی دیویی	: ۰۰۶/۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۱۰۵۲۸۳



عنوان کتاب: هوش محاسباتی (کنترل فازی)

تألیف: دکتر محمدباقر منهاج - یاسر شکری کلاندرق

ناشر: انتشارات نهر دانش

چاپ اول: ۱۳۹۴

تیراژ: ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۲۲۰۰۰ تومان

چاپ و صحافی: پردیس دانش

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۷۱۴-۲۳-۴

978-600-5714-23-4

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

پیش‌گفتار مؤلفان

خدا را شاکریم که این توفیق را نصیب ما کرد تا بتوانیم جلد دیگری از سری کتاب‌های هوش محاسباتی را به چاپ برسانیم. کتابی که پیش رو دارید از دیدگاه تئوری کنترل، محاسبات فازی را بکار گرفته و کلمه فازی را به عنوان یک صفت برای یک کنترل‌کننده وارد بحث می‌کند، نگاهی که به اعتقاد مؤلفان با گذر زمان در شاخه‌های بسیاری به بیراهه کشیده شده است و محققین بسیاری از پایه و اساس شکل‌گیری این دیدگاه غافل شده و دست به ارائه راه‌کارهای غیرمتعارف زده‌اند. این کتاب مستخرج از بیش از دو دهه تجربه مؤلف اول آن (دکتر منهاج) در امر تدریس درس کنترل فازی و شرکت در کنفرانس‌های متعدد بین‌المللی فازی و ارائه سمینار و مباحثه با صاحب‌نظران این شاخه از علم است. پروفسور عسگرزاده معروف به زاده می‌باشد. در این کتاب ابتدا به ساکن سعی شده است درک صحیحی از تعریف یک کنترل‌کننده فازی برای خوانندگان شکل گرفته و جایگاه این بحث کاملاً مشخص شود. این مهم (آشنایی و درک یک سیستم استاندارد فازی) در دو فصل اول کتاب مطرح می‌شود جایی که برای فهم آن ضرورتی ندارد، متخصص در مهندسی کنترل بوده یا دوره تخصصی مهندسی در مهندسی کنترل گذرانده باشیم و شناخت پایه‌ای از کنترل‌کننده‌های کلاسیک کفایت می‌کند. اما به‌طور حتم مطالب ارائه شده در کتاب محاسبات فازی جهت فهم مطالب این کتاب بسیار مفید را ساخته خواهد بود، به همین دلیل برای مستقل کردن کتاب، در ضمیمه آن مختصری از بحث‌های محاسبات فازی آورده شده است که توصیه می‌شود قبل از شروع فصل دوم مطالعه گردد.

در فصل سوم سری‌های زمانی فازی معرفی شده‌اند. رویکرد این فصل ارائه کاربردی برای سیستم‌های فازی با بکارگیری محاسبات فازی است. تاکید ما بیشتر بر این است که نشان دهیم سیستم‌های فازی و کاربردهایی از قبیل سری‌های زمانی فازی، چیز جز آنچه که در محاسبات فازی تحت عنوان روابط فازی داشتیم نیستند.

در فصل چهارم متد *Takagi-Sugeno* معرفی شده است که مشتق شده از سیستم‌های فازی استاندارد است و از لحاظ عملیاتی بعضاً کاربردی‌تر نیز می‌باشد. در این فصل مفصلاً به توضیح یکی از روش‌های به روز جهت پیاده‌سازی این متد تحت عنوان PDC برای امر کنترل پرداخته-ایم، در تکنیک PDC قدم اول مدل‌سازی سیستم تحت کنترل با متد *Takagi-Sugeno* بوده و

پیرو آن نشان داده‌ایم این متد (و همچنین هر سیستم استاندارد فازی) قابلیت تقریب‌زنی عمومی را دارا می‌باشد.

آنچه که به بحث شناخت و پیاده‌سازی کنترل فازی مربوط می‌شود در انتهای فصل چهارم به پایان رسیده و خوانندگانی که تنها به دنبال آشنایی و به‌کارگیری اولیه بوده‌اند نیازمند درگیری با ادامه مطالب کتاب نمی‌باشند. در ادامه کتاب (فصل پنجم) به عنوان یکی از مهم‌ترین نیازها در یک کنترل‌کننده فازی خاصیت یادگیری را به معرض بحث گذاشته‌ایم. این نگاه سرایت کرده از نیازهای دیده شده در بحث کنترل کلاسیک است. در شاخه کنترل تطبیقی که مبحث اصلی فصل پنجم کتاب می‌باشد، بحث از دو جنبه قابل بررسی است: اول کنترل‌کننده فازی‌ای که قابلیت تطبیق دارد^۱ و دوم کنترل‌کننده تطبیقی‌ای که با روش‌های فازی ترکیب شده است^۲. به طور کاملاً مشخص در این فصل درگیر نوع اول هستیم تا مبنای بحث همان کنترل‌کننده فازی باشد. خاصیت یادگیری در روش‌های فازی قابلیت تطبیقی بودن را برای آن‌ها به وجود می‌آورد که بخشی از آن در حالت غیرمستقیم مربوط به عملیات شناسایی سیستم است و بعنوان مقدمه‌ای بر بحث کنترل در فصل پنجم دنبال شده است. در ادامه این فصل روش‌های خوشه‌بندی معمولی و مدل‌سازی فازی آن‌ها و روش خوشه‌بندی فازی از جمله دو رویکردی هستند که مستقلاً مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در انتها نیز کمک روش‌های یادگیری در سیستم‌های فازی نشان داده‌ایم که چگونه می‌توان یک سری زمانی را توسط یک سیستم فازی مدل کرد و این غیر از بحثی است که در فصل سوم، تحت عنوان سری‌های زمانی سری به عنوان کاربردی از سیستم‌های فازی آورده شده است.

فصل ششم کتاب نیز به عنوان رویکرد همیشه مطرح در سیستم‌های کنترل بحث‌های پایداری سیستم‌های کنترل فازی را تا جایی که در حوصله کتاب باشد به چالش کشیده است.

کارکردهای فراوان دیگری که چندان مورد توصیه کتاب نیست از بحث‌های ترکیبی نگاه فازی در کنترل کلاسیک می‌باشد که مسلماً نیازمند اطلاعات از شاخه‌های دیگر بحث کنترل مانند مباحث غیرخطی، تطبیقی، مقاوم، بهینه و ... است. در شاخه دیگری از ترکیبات با سیستم‌های فازی پا

1. Adaptive Fuzzy Controller

2. Fuzzy Adaptive Controller

فراتر نهاده شده و ترکیب دو ساختار هوشمند شبکه عصبی و سیستم فازی مورد استفاده قرار گرفته است. در این ترکیب از ویژگی‌های اساسی شبکه عصبی در ساختار سیستم‌های تصمیم‌گیر فازی بهره برده شده است. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به تعمیم‌پذیری و نمایش توزیعی دانش، مقاوم‌پذیری در مقابل نایقینی‌ها و خطا و هم‌سنخ بودن با سیستم‌های تصمیم‌گیر فازی (تقریب زنده عمومی مبتنی بر داده‌های تجربی) و ... اشاره کرد. در این ترکیب همچنین قابلیت استفاده از روش‌های یادگیری در شبکه عصبی نیز فراهم گردیده و شاید به نوعی کمرنگ رویای ایجاد یک سیستم دینامیکی که استنتاج‌گری و یادگیری انسانی را بطور هم‌زمان میسر می‌سازد محقق شده است. هر مهندس کنترلی می‌تواند از مزایای سیستم فازی در تکنیک‌های کنترلی خود استفاده کند. اما آنچه به ما در این کتاب به عنوان یک سیستم کنترل فازی می‌شناسیم، سیستم هوشمندی است که عازیت بر ذات ورودی‌ها و خروجی‌های آن دیده می‌شود. اکثر مباحث ترکیبی از این نقطه فاصله گرفته و همان تابل توجیه نیستند. با این حال پرداخت به بحث‌های ترکیبی اشاره شده از کنترل کلاسیک هوشمند (که بیشتر مورد تایید است) با سیستم‌های فازی به منظور کنترل و مدل‌سازی را در برنامه‌های بعدی قرار داده‌ایم.

در پایان از تمامی اساتید و دانشجویانی که در تهیه این کتاب ما را یاری کرده‌اند و ذکر نام آن‌ها به علت کسرت مقدور نیست قدردانی و تشکر می‌نماییم. از تمامی عزیزانی که در ارتباط با مطالب کتاب اشکالی می‌بینند و یا پیشنهادی دارند، خواهشمندیم مراتب را از طریق آدرس الکترونیکی menhaj@aut.ac.ir یا shokri1206@aut.ac.ir در میان بگذارند.

محمدولی زکریا
از غرض و جانش مجاهد

هر برگ از این درخت پیمان
برگی که حدیث جان سراید

یاسر شکری کلاندورق

دانشجوی دکتری مهندسی برق
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پاییز ۱۳۹۴

محمد باقر منهای

استاد دانشکده مهندسی برق
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

ت	پیش‌گفتار مؤلفان	۱
۱	فصل اول: مقدمه‌ای بر کنترل فازی	۱
۲	۱.۱ مقدمه	۲
۴	۲.۱ سیستم‌های فازی کجا و چگونه مورد استفاده قرار می‌گیرند؟	۴
۶	۱.۲.۱ ماشین لباس‌شوئی فازی	۶
۶	۲.۱.۱ بازار ساز دیجیتالی تصاویر	۶
۷	۳.۲.۱ سیستم‌های فازی در اتومبیل‌ها	۷
۸	۴.۲.۱ کنترل فازی توره سیمان	۸
۹	۵.۲.۱ کنترل فازی در موتور زیرزمینی	۹
۱۱	۳.۱ بزرگ‌ترین زمینه تحقیقات در تئوری فازی چیست؟	۱۱
۱۳	۴.۱ جدلهایی روی موضوع چرا سال‌کننده‌های فازی	۱۳
۱۶	۵.۱ نکاتی که در طراحی کنترل کننده در نظر گرفته می‌شود	۱۶
۱۷	۶.۱ سیستم‌های مبتنی بر دانش برای سیستم‌های کنترل حلقه بسته	۱۷
۲۰	۷.۱ کاربردهایی از سیستم‌های مبتنی بر دانش	۲۰
۲۰	۱.۷.۱ نظارت	۲۰
۲۱	۲.۷.۱ پیش‌بینی خطا	۲۱
۲۱	۳.۷.۱ کنترل نظارتی	۲۱
۲۳	۸.۱ سیستم‌های کنترلی	۲۳
۲۳	۱.۸.۱ نمایش پدیده‌ها و مؤلفه‌های سیستم	۲۳
۲۳	۲.۸.۱ سیستم برگشتی	۲۳
۲۴	۳.۸.۱ کنترل مستقیم	۲۴
۲۵	۴.۸.۱ کنترل غیرمستقیم	۲۵
۲۵	۵.۸.۱ کنترل‌کننده PID کلاسیک	۲۵
۴۸	۹.۱ کنترل‌کننده‌های فازی در چارچوب سیستم‌های هوشمند	۴۸
۵۰	۱۰.۱ خلاصه مطالب	۵۰
۵۱	۱۱.۱ تمرینات و پروژه‌های فصل اول	۵۱

فصل دوم: ساختار کنترل کننده فازی ۵۳

- ۱.۲ مسئله کلاسیک بالانس نمودن آونگ وارون روی یک گاری ۵۴
- ۲.۲ ساختار کلی کنترل کننده فازی ۵۹
- ۱.۲.۲ فضای ورودی- خروجی ۶۰
- ۲.۲.۲ سیستم فازی ساز ۶۵
- ۳.۲.۲ پایگاه دانش ۶۹
- ۴.۲.۲ مکانیسم استنتاج ۷۲
- ۵.۲.۲ سیستم کریسپسازی (عدد ساز) ۱۰۱
- ۶.۲.۲ مسئله عددسازی با وجود محدودیت ۱۱۶
- ۳.۲ انواع کنترل کننده های فازی ۱۲۲
- ۱.۳.۲ کنترل کننده های فازی غیر مبتنی بر مدل ۱۲۴
- ۲.۳.۲ کنترل کننده های فازی مبتنی بر مدل ۱۲۶
- ۳.۳.۲ روش های ترکیبی ۱۲۷
- ۴.۳.۲ روش های طراحی سیستم ۱۳۳
- ۵.۳.۲ کنترل پیش بین فازی ۱۴۴
- ۴.۲ تمرینات و پروژه های فصل دوم ۱۴۷

فصل سوم: سری های زمانی فازی ۱۵۵

- ۳.۱.۱ مبانی ریاضی سری های زمانی فازی ۱۵۷
- ۲.۱.۳ معرفی سری های زمانی فازی و مدل های مختلف آن ۱۵۸
- ۳.۱.۳ تشریح ریاضی سربهای زمانی فازی ۱۶۰
- ۳.۱.۴ روش پیش بینی با استفاده از سری های زمانی فازی ۱۶۷
- ۲.۳ تمرینات و پروژه های فصل سوم ۱۸۵

فصل چهارم: سیستم های تابعی مبتنی بر قانون ۱۸۷

- ۱.۴ مقدمه ۱۸۸
- ۲.۴ سیستم تاکاگی و سوگنو ۱۸۹
- ۱.۲.۴ کنترل کننده مبتنی بر قانون با بهره برنامه ریزی شده ۱۹۹
- ۲.۲.۴ مدل فضای حالت (T-S) ۲۰۱
- ۳.۲.۴ طراحی کنترل کننده پایدار به کمک LMI ۲۱۴

۲۲۴	۳.۴ مدل $T-S$ به عنوان تقریب زننده عمومی
۲۲۴	۱.۳.۴ معرفی و تاریخچه
۲۲۷	۲.۳.۴ تقریب توابع غیر خطی با استفاده از $T-S$ خطی
۲۳۹	۴.۴ تمرینات و پروژه‌های فصل چهارم
۲۴۳	فصل پنجم: یادگیری در سیستم‌های فازی
۲۴۴	۱.۵ مقدمه
۲۴۵	۲.۵ کنترل تطبیقی
۲۴۷	۱.۲.۵ شناسایی سیستم به کمک روش حداقل مربعات
۲۶۵	۲.۲.۵ روش‌های گرادینت
۲۸۲	5.2.3 کنترل با مدل مرجع فازی
۲۹۴	۴.۲.۵ طراحی و پیاده‌سازی $FMRLC$ بر روی یک سیستم نمونه
۳۰۱	۵.۲.۵ پیاده‌سازی $MRAC$ و کشتی باربری با دو الگوریتم متفاوت
۳۰۵	5.2.6 مقایسه‌ای تحلیلی بین $FMRLC$ و $MRAC$
۳۱۱	۷.۲.۵ کنترل‌کننده فازی غیر مستقیم
۳۲۳	۳.۵ خوشه‌بندی فازی
۳۲۶	۱.۳.۵ تحلیل خوشه‌ای
۳۲۷	۲.۳.۵ آموزش سیستم فازی با تکنیک خوشه‌بندی
۳۴۸	۴.۵ مدل فازی استاندارد برای سری‌های زمانی
۳۵۱	۵.۵ خلاصه
۳۵۲	۶.۵ تمرینات و پروژه‌های فصل پنجم
۳۶۳	فصل ششم: پایداری در سیستم‌های فازی
۳۶۴	۱.۶ پایداری مطلق
۳۶۵	۱.۱.۶ بیان مسئله و پیشینه تاریخی آن
۳۶۷	۲.۱.۶ مقدمه ریاضی
۳۷۸	۳.۱.۶ سیستم‌های متغیر با زمان
۳۷۹	6.1.4 پایداری سیستم فیدبک LTI
۳۸۲	۲.۶ پایداری سیستم‌های کنترل‌کننده فازی
۳۸۳	۱.۲.۶ کنترل‌کننده فازی

۳۸۶	 پایداری و محک دایره	۲.۲.۶
۳۹۳	 بررسی پایداری با روش پوپوف	۳.۲.۶
۳۹۸	 پایداری عددی کنترل‌کننده‌های فازی	۴.۲.۶
۴۰۷	 تمرینات و پروژه‌های فصل ششم	۳.۶

ضمیمه ۴۱۱

۴۱۲	 تئوری مجموعه‌های فازی	۱.۷
۴۱۲	 مجموعه‌های فازی	۱.۱.۷
۴۱۴	 تعریف‌های پایه‌ای مجموعه‌های فازی	۲.۱.۷
۴۱۵	 عملگرها روی مجموعه‌های فازی	۳.۱.۷
۴۱۹	 اعداد فازی	۴.۱.۷
۴۲۲	 رابط فازی	۵.۱.۷
۴۲۴	 استدلال فازی	۶.۱.۷
۴۲۵	 لیست مراجع مفید	