شناسایی و کنترل فازی

تألیف:

جان اچ. لایلی

مترجمان:

دکتر محمود جورابیان

استاد دانشگاه شهید چمران اهواز

استاد نمونه کشــوری سال ۱۳۹۱

مهندس میلاد همتیان لرکی

کارشناس ارشد شرکت برق منطقه‌ای خوزستان

نیاز دانش

پیش‌گفتار مؤلف

در سال ۱۹۸۲، زمانی که مدرک PHD خود را در کنترل تطبیقی(از نوع غیر فـازی) گـرفتم، کنتـرل فازی هنوز به‌عنوان یک حوزه‌ی تحقیقاتی خیلی وسیع مورد توجه قرار نگرفته بـود. تـا آن زمـان تنهـا تعداد اندکی از مقالات (احتمالاً کمتر از ۱۰۰ تا) در زمینه‌ی فـوق موجـود بـود و اغلـب مـا (محققـان مصمم) فازی را به‌عنوان یک روش کنترلی به حساب نمی‌آوریم. پس از مدتی، تعداد مقـالات و کتـب نوشته شده در مورد برخی کاربردهای سیستم‌های فازی به دهها هزار رسید، و بسیاری از مـا (محققـان مصمم) پس از تشخیص پتانسیل دیدگاه فازی، به‌طور جزئی یا کامل تلاش‌هـای تحقیقـاتی‌مـان را بـه سمت وجوه و کاربردهای تشخیص، طبقه‌بندی یا کنترل فازی هدایت نمودیم. تقریباً ۱۰ سـال پـس از فارغ التحصیلی، شروع به مطالعه‌ی هر چیزی که می‌توانستم در مـورد موضـوعات تشـخیص و کنتـرل پیدا کنم کرده و با برگزاری یک دوره‌ی سطح فارغ التحصیلی در این زمینـه در دانشـگاه لوئیزویلـه بـه بهترین درک ممکن در این حوزه رسیدم. این کتاب نتیجه‌ی کنفرانس‌هایی اسـت کـه در طـی ده سـال اخیر در این دوره ارائه کردم، به علاوه‌ی مطالبی که تا اکنون ارائه نکرده اما احتمالاً در آینـده بـه آن‌هـا اشاره خواهم نمود.

بنده این کتاب را در سطح مقدماتی برای دو اصلی که در منطق فازی مورد استفاده قرار مـی‌گیرنـد به رشته‌ی تحریر درآوردم: تشخیص و کنترل. این کتاب به گونه‌ای نوشته شده است که مطـالبی را کـه فکر می‌کردم در این رابطه مهم هستند در بر گرفته، اما نمی‌توانستم تمامی آن‌ها را به صورت یـک جـا در قالب یک متن ارائه دهم. من برای تدریس دوره‌ی خود مطالبی را از چندین منبع قرض گرفته‌ام بـه گونه‌ای که استفاده از آن‌ها برای استاد و دانشجو بهینه خواهند بود. به علاوه، بسیاری از مطـالبی را کـه در این زمینه یافتم اگر چه خیلی عالی بودند اما در سطحی خیلی بالاتر از سطح مقدماتی بوده و نیـازی به بیان آن‌ها وجود نداشت. نتیجتاً، این کتاب را طوری نوشتم که مطالبی را کـه گمـان مـی‌کـردم مهـم هستند در بر گرفته و امیدوارم به قدری سطح بالا نباشد که باعث زده شدن دانشجویان گردد.

کتاب حاضر جهت استفاده‌ی دانشجویانی که تازه فارغ‌التحصیل شده‌اند و نیز کسـانی کـه سـابقه‌ی بیشتری دارند نوشته شده است. مقداری پیش زمینه در رابطه با کنترل مفید خواهد بود امـا بسـیاری از عناوین پوشش داده شده در دوره‌های کنترل‌های مقدماتی نظیر حد بهره و فاز، مکان هندسی ریشه‌هـا، دیاگرام‌های بود و نایکوئیست، پاسخ گذرا و حالت دائم و غیره در اینجا کاربرد اندکی دارند. از طـرف دیگر، برخی از موضوعات بحث شده در این کتاب، نظیر تشـخیص و کنتـرل تطبیقـی، مرجـع مـدل و تعقیبی تنها در دوره‌های کنترل‌های سطح پیشرفته پوشش داده می‌شوند. این بخشی از چیزی است کـه بیان مطالب را برای تدریس دشوار می‌سازد.

چیزی که از قبل می‌تواند در این زمینه خیلی مؤثر باشد مقداری درک از سیستم‌های دینامیکی زمان گسسته و پیوسته و فهم اهداف اصلی و روش‌های کنترلی است (یا به عبارت دیگر پایدارسازی، تعقیب، و کنترل مرجع مدل). این موضوع قدم کوچکی در ابتدای راه ریاضیات پیشرفته‌ای است که فراتر از معادلات دیفرانسیل، توابع تبدیل، و جبر خطی مورد نیاز برای خواندن و فهم این کتاب می‌باشد.

موضوعات کنترل و شناسایی فازی در برنامه‌نویسی کامپیوتری بسیار سنگین می‌باشند. به منظور پیاده‌سازی شبیه‌سازی سیستم‌های فازی، نوشتن برنامه‌های کامپیوتری تقریباً گریزناپذیر است، بنابراین فرض می‌شود که خواننده دارای حداقل معلوماتی در رابطه با برنامه‌نویسی کامپیوتری و شبیه‌سازی کامپیوتری سیستم‌های دینامیکی است. در این کتاب متلب به طور انحصاری برای شبیه‌سازی‌ها به کار رفته که دلیل آن سادگی ترسیم و نیز دستکاری‌های ماتریسی برنامه‌نویسی است. در اینجا من بر روی هیچ برنامه‌ی از پیش نوشته شده (مثل حل کننده‌های معادله دیفرانسیل متلب ode23، ode25 و غیره) یا جعبه ابزارها (مثل جعبه ابزار فازی) تکیه نکرده‌ام. یک استثناء در این زمینه استفاده از جعبه ابزار کنترل LMI به کار رفته در فصل ۷ به منظور حل یک نامعادله ماتریسی خطی است.

چینش کتاب حاضر

چینش این کتاب ممکن است برای برخی‌ها عجیب باشد. فصل ۵، که برخی روش‌های کنترل و مدل‌سازی غیر فازی معروف را ارائه می‌دهد، ممکن است به نظر آید که در میان فصل‌های دیگر که تنها با موضوعات فازی سر و کار دارند، جایی ندارد. به همین دلیل به بنده پیشنهاد شد که مطالب فصل ۵ را یا در فصل مقدمه یا در پیوست قرار دهم. با این حال، به نظر خودم قرار گرفتن این مطالب در فصل ۵ مناسب است.

فصول ۴-۲ مفاهیم پایه‌ی منطق فازی، مجموعه‌های فازی، سیستم‌های فازی، و کنترل با سیستم‌های فازی ممدانی را پوشش می‌دهند. تمامی کنترلرهای ارائه شده در فصل ۴ بر مبنای «دانش تخصصی» طراحی شده‌اند. طراحی آن‌ها بر مبنای هیچ مدل ریاضیاتی از سیستمی که آن‌ها کنترل می‌کنند و یا استفاده از هیچ روش کنترلی رسمی (جایابی قطب، تعقیب، غیره) نمی‌باشد. بنابراین، هیچ احتیاجی به مطالعه روش‌های کنترل یا مدل‌سازی ریاضیاتی برای استفاده از هر چیزی که در فصل ۴ است نمی‌باشد.

از طرف دیگر، فصول ۶ و ۷ سیستم‌های فازی تاکاگی – سوجنو (T-S) که استفاده از یک مدل مجموعه را همراه با انتخاب برخی روش‌های کنترلی رسمی ضروری می‌سازند، معرفی می‌نمایند. در نتیجه، معرفی برخی مدل‌سازی‌های استاندارد و تکنیک‌های کنترلی در میان سیستم‌های T-S و ممدانی به نظر کاری مناسب می‌رسد. من احساس کردم که قرار دادن این مطالب در فصل مقدمه یا پیوست از شانس آن‌ها برای مطالعه توسط خواننده می‌کاهد. به هر ترتیب، فصول به صورت زیر دسته‌بندی شده‌اند.

فصل ۱ مقدمه‌ای بر منطق فازی، کنترل فازی، و کنترل فازی تطبیقی است. در این فصل مفاهیم دانش تخصصی، که پایه‌ای برای بسیاری از کنترل‌های فازی است معرفی می‌نمائیم. در اینجا به طور مختصر در مورد این‌که چه زمانی روش‌های فازی می‌توانند توجیه‌پذیر باشند و چه زمانی نمی‌توانند، و نیز دلیل آن صحبت می‌نمائیم. همچنین در مورد مجموعه‌های به کار رفته در مثال‌ها به منظور نشان دادن اصول مختلف آموخته شده در این کتاب بحث می‌نمائیم: به علاوه در فصل ۱ به‌طور مختصر تعاریف مسائل شناسایی و کنترل ارائه شده است. سرانجام، این موضوعات به‌منظور بحث در مورد مفهوم کنترل فازی تطبیقی تلفیق می‌شوند.

فصل ۲ مفاهیم پایه‌ی مجموعه‌های فازی، نظیر توابع عضویت، جامعه‌ی مورد بحث، متغیرهای زبانی، مقادیر زبانی، گستره و تحدب را پوشش می‌دهد. همچنین در مورد برخی تئوری‌های مجموعه و اعمال منطقی بر روی مجموعه‌های فازی نظیر زیر مجموعه‌ی فازی، متمم مجموعه، اشتراک فازی، و ضرب کارتزینی فازی بحث نموده‌ایم.

در **فصل ۳** سیستم‌های فازی ممدانی که از لحاظ قدمت اولین سیستم فازی به‌کار رفته برای کنترل می‌باشند، مطرح شده‌اند. در این فصل در مورد فرآیندهای گوناگونی که سیستم‌های فازی را تشکیل می‌دهند، شامل فازی سازی، استنتاج، غیر فازی سازی، و پایگاه قانون بحث نموده‌ایم. در این فصل ۲ نوع خیلی رایج از غیر فازی سازی را مورد بحث قرار داده‌ایم: مرکز ثقل و متوسط مرکز. در این فصل، همچنین مفاهیم مشخصه ورودی – خروجی یک کنترلر فازی را مطرح می‌نمائیم. سرانجام، مجموعه‌ی فازی تک عضوی که در تمامی کنترلرها و شناساگرهای منتجه استفاده می‌گردند، معرفی گردیده‌اند.

در **فصل ۴** در مورد کنترلر فازی حلقه بسته با سیستم‌های فازی ممدانی بحث شده است. در این فصل نشان داده شده که چگونه یک کنترلر مؤثر را می‌توان برای بسیاری از سیستم غیرخطی پیچیده با استفاده از تنها درک عمومی طراحی نمود. در ادامه نشان داده‌ایم که چگونه یک کنترلر را می‌توان به وسیله‌ی مقیاس‌بندی جامعه‌ی مورد بحث برای بهبود عملکرد تنظیم نمود. همچنین نشان خواهیم داد که چگونه کنترلرهای فازی را می‌توان برای بهبود قدرت (مجدداً بر اساس درک عمومی) بازطراحی کرد. فصل ۴ شامل یک روش تبدیل کننده‌ی کنترلر تناسبی – انتگرال گیر – مشتق گیر (PID) غیرفازی به یک کنترلر فازی به منظور افزایش قدرت در جهت بازطراحی است. این فصل همچنین شامل مقدمه‌ای بر کنترل فازی افزایشی است.

فصل ۵ غیر فازی است. این فصل حاوی خلاصه‌ای از برخی تکنیک‌های معمول کنترل و مدل‌سازی است که در بقیه‌ی این کتاب مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌باشد. در این فصل نشان داده شده است که چگونه می‌توان سیستم‌های غیر خطی زمان پیوسته که اغلب سیستم‌های زمان – حقیقی هستند را به‌صورت سیستم‌های فازی در چندین فرم (فرم فیدبک خطی پذیر زمان – پیوسته، فرم فضای حالت خطی زمان گسسته و زمان پیوسته، و فرم معادله دیفرانسیل ورودی – خروجی زمان گسسته) مدل نمود. تمامی این فرم‌ها بعداً در این کتاب مورد استفاده قرار خواهند گرفت. همچنین در فصل ۵ برخی روش‌های مرسوم کنترلی به‌کار رفته در کنترل فازی، نظیر کنترل تعیین مکان قطب،

کنترل تعقیبی، کنترل مرجع مدل، و خطی پذیری فیدبک نیز بیان گردیده است.. مجدداً، این‌ها نیز در ادامه‌ی کتاب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فصل ۶ سیستم‌های فازی T-S را به‌عنوان درون‌یاب‌هایی میان توابع بدون حافظه، سیستم‌های دینامیکی زمان پیوسته و گسسته‌ی تعریف شده در فرم فضای حالت، و سیستم‌های دینامیکی ورودی – خروجی خطی زمان گسسته معرفی می‌نماید.

در **فصل ۷** کنترل توزیع شده‌ی موازی با سیستم‌های فازی T-S ارائه شده است. در این فصل مفاهیم نامعادلات ماتریسی خطی را که توسط آن‌ها پایداری برای سیستم‌های حلقه بسته‌ی شامل کنترلرهای فازی قابل اثبات است معرفی نموده‌ایم. در این فصل در این مورد بحث شده که چگونه کنترل‌های تعقیب فازی و مرجع مدل می‌توانند برای سیستم‌های غیرخطی با استفاده از کنترلرهای توزیع شده‌ی موازی تحقق یابند.

فصل ۸ در مورد تخمین توابع غیرخطی استاتیک از طریق داده‌ها با استفاده از حداقل مربعات دسته‌ای، حداقل مربعات بازگشتی، و روش‌های گرادیانی بحث شده است. معادلات به هنگام رسانی پارامتر گرادیانی، مشابه با پس انتشار در شبکه‌های عصبی به دست می‌آیند. در ادامه در مورد اهمیت انتخاب داده‌های ورودی و نیز بررسی صحت مدل برای این روش‌ها بحث می‌نمائیم.

فصل ۹ اصول بحث شده در فصل ۸ را به‌منظور به دست آوردن مدل‌های فازی T-S مجموعه‌های دینامیکی برای استفاده‌ی آن‌ها در کنترل حلقه بسته به کار می‌گیرد. این فصل با به دست آوردن روش مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی نامتغیر با زمان با مدل‌های ریاضیاتی معروف با استفاده از سیستم‌های فازی T-S شروع می‌شود. بقیه‌ی این فصل در رابطه با شناسایی از طریق داده‌های سیستم‌های زمان پیوسته‌ی غیرخطی به صورت سیستم‌های فازی T-S به فرم خطی‌پذیری فیدبک یا معادله دیفرانسیل ورودی – خروجی است.

فصل ۱۰ از اصول به دست آمده در فصل ۹ به منظور توسعه‌ی کنترلرهای فازی تطبیقی مستقیم و غیرمستقیم استفاده می‌نماید. این روش‌ها برای چندین سیستم مختلف شامل یک بازوی روباتیک با تحریک موتوری، یک سیستم توپ و تیرک، و یک گنتری به کار گرفته شده‌اند.

چه چیزهایی در این کتاب پوشش داده نشده است

تمامی موضوعات پوشش داده شده در این کتاب کاملاً فنی بوده و شامل تعداد زیادی نمادگذاری‌های پیچیده است. گرچه این کار قطعاً ارزشمند بوده و حتی برای کسی که به مطالعه در زمینه‌ی شناسایی و کنترل فازی علاقمند است، کاملاً مناسب می‌باشد با این وجود با حذف برخی موضوعات به قدری سعی در ساده کردن موضوع داشته‌ام. به ویژه، موضوعات زیر که برای دست‌اندرکاران فازی معروف هستند، در اینجا پوشش داده نشده‌اند.

۱- روش‌های فازی سازی غیر از فازی سازی تک عضوی

فازی سازی روشی است که توسط آن کمیت‌های اندازه‌گیری شده از سیستم‌های زمان واقعی به مجموعه‌های فازی تبدیل می‌شوند. بسته به اینکه چگونه کمیت‌های اندازه‌گیری قرار است تفسیر شوند، تعداد زیادی روش فازی‌سازی وجود خواهد داشت. آسان‌ترین فلسفه‌ی فازی سازی، فازی سازی تک عضوی است که در آن کمیت‌های اندازه‌گیری شده به سادگی همان‌طور که اندازه‌گیری می‌گردند دقیق فرض می‌شوند. چون اکثر فازی‌سازی‌ها در عمل از همان نوع تک عضوی هستند، این استراتژی تنها استراتژی فازی‌سازی در نظر گرفته شده در اینجاست.

۲- شکل‌های تابع عضویت غیر تک عضوی به جز مثلثی و گاؤسی

در حالت کلی، تابع عضویت توصیف کننده‌ی یک مجموعه‌ی فازی باید به دقت عضویت را در مجموعه منعکس نماید. بنابراین شکل تابع عضویت عملاً بدون محدودیت است. با این حال در عمل، تنها تعداد کمی شکل عضویت بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین از میان این شکل‌ها ما شکل‌های مثلثی و گاؤسی را انتخاب نموده‌ایم (مثلثی چون امکان بخشی از واحد را دارد، و گاؤسی چون در کنترلرهای تطبیقی و شناساگرهای فازی بسیار مفید است).

۳- روش‌های غیر فازی سازی غیر از مرکز ثقل و متوسط مرکز

غیرفازی‌سازی روشی است که توسط آن مجموعه‌های فازی به اعداد قطعی که قرار است به دنیای بیرون تحویل داده شود، تبدیل می‌گردند. استراتژی‌های غیرفازی‌سازی بی‌شماری وجود دارند، اما ما در اینجا تنها دو تا از رایج‌ترین آن‌ها را انتخاب نموده‌ایم: مرکز ثقل و متوسط مرکز.

۴- مجموعه‌های فازی ضمنی کلی (یونیورسال) برای غیر فازی سازی

مجموعه‌های فازی ضمنی کلی برای غیر فازی سازی در اینجا جهت حمایت از مجموعه‌های فازی ضمنی تکی خیلی آسان‌تر پوشش داده شده‌اند.

۵- خاصیت تقریب جامع سیستم‌های فازی

خاصیت تقریب جامع سیستم‌های فازی بیان می‌دارد که هر تابعی را می‌توان به‌وسیله‌ی یک سیستم فازی با دقتی اختیاری تقریب زد. نکته‌ی مهم این است که خاصیت مذکور استفاده از شناساگرهای فازی را برای سیستم‌های غیر خطی توجیه پذیر می‌سازد. با این حال، در خیلی از مراجع می‌توان این خاصیت را یافت و به‌نظر می‌رسد که کمی با اهداف مورد نظر برای این کتاب فاصله دارد. بنابراین از آن اجتناب شده است.

۶- روش‌های شناسایی غیر از حداقل مربعات و گرادیان

ما در این کتاب بر روی روش‌های حداقل مربعات دسته‌ای و بازگشتی (RLS) و گرادیانی تمرکز کرده و از دیگر روش‌ها نظیر تصویر متعامد، میانگین حداقل مربعات، خوشه‌بندی، و تعلیم پرهیز نموده‌ایم. همچنین از روش‌هایی که به تکنیک‌های شناسایی تکانه را می‌افزایند، دوری نموده‌ایم.

تقدیر و سپاس

در اینجا می‌خواهیم از کمک افرادی که به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم در نوشتن این کتاب به من یاری رسانده‌اند قدردانی کنم. اول از همه، از دانشجویان P.H.D یعنی جری برانسول، لیانگ یانگ، و جی لیو و تمامی کسانی که ذهن من را در کنترل فازی به هر روشی باز نموده‌اند، تشکر ویزه می‌کنم. دوم، از همکار من جاسک زورادا، کسی که خودش نویسنده‌ی چندین کتاب عالی در زمینه‌ی شبکه‌های عصبی و هوش محاسباتی است و بنده را به‌طور وصف‌ناپذیری در انجام این مهم کمک کرده و توصیه‌هایی در این زمینه به من نموده است، قدردانی می‌کنم. از استاد راهنمای P.H.D خود، پروفسور مارک بالاس برای تشویق من به ریاضیات و سخت‌گیری در مهندسی بسیار سپاسگزارم. سرانجام، می‌خواهم از پروفسور چی سونگ چن کسی که نویسنده‌ی کتاب‌هایی عالی در زمینه‌ی کنترل، سیستم‌های خطی، و سیگنال‌ها است، برای الهام غیر مستقیم من به نوشتن این کتاب تشکر ویژه کنم.

جان اچ. لایلی

پیش‌گفتار مترجمان

مفاهیم نادقیق بسیاری در پیرامون ما وجود دارند که آنها را به‌صورت روزمره در قالب عبارت‌های مختلف بیان می‌کنیم. به این جمله دقت کنید: «هوا خوب است.» هیچ کمیتی برای خوب بودن هوا مطرح نیست تا آن را اندازه بگیریم بلکه این یک حس کیفی است. در واقع مغز انسان با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف و بر اساس تفکر استنتاجی جملات را تعریف و ارزش‌گذاری می‌نماید که مدل‌سازی آن‌ها به زبان و فرمول‌های ریاضی اگر غیر ممکن نباشد کاری بسیار پیچیده خواهد بود. منطق فازی تکنولوژی جدیدی است که شیوه‌هایی را که برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است، با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره جایگزین می‌سازد.

اگر از ما پرسیده شود منطق فازی چیست شاید ساده‌ترین پاسخ بر اساس شنیده‌ها این باشد که Fuzzy Logic یا Fuzzy Theory یک نوع منطق است که روش‌های نتیجه‌گیری در مغز بشر را جایگزین می‌کند. مفهوم منطق فازی توسط دکتر لطفی‌زاده، پروفسور دانشگاه کالیفورنیا در برکلی، ارائه گردید و نه تنها به‌عنوان متدولوژی کنترل ارائه شد بلکه راهی برای پردازش داده‌ها، بر مبنای مجاز کردن عضویت گروهی کوچک به‌جای عضویت گروهی دسته‌ای ارائه کرد. به‌جهت نارسا و نابسنده بودن قابلیت کامپیوترهای ابتدایی تا دهه ۷۰ این تئوری در سیستم‌های کنترلی به‌کار برده نشد.

پروفسور لطفی‌زاده اینطور استدلال کرد که بشر به ورودی‌های اطلاعاتی دقیق نیازی ندارد بلکه قادر است تا کنترل تطبیقی را به‌صورت بالایی انجام دهد. پس اگر ما کنترل‌کننده‌های فیدبک را در سیستم‌ها طوری طراحی کنیم که بتواند داده‌های مبهم را دریافت کند، این داده‌ها می‌توانند به‌طور ساده‌تر و موثرتری در اجرا به‌کار برده شوند.

با این تعاریف منطق فازی دارای این قدرت است که در تنظیم سیستم‌ها از میکروکنترل‌های ساده وکوچک و جاسازی شده گرفته تا PCهای چند کاناله شبکه‌شده بزرگ یا سیستم‌های کنترلی به‌کار برده شود. این منطق دارای قدرت اجرایی در سخت‌افزار، نرم‌افزار یا ترکیبی از هر دوی اینهاست. در واقع منطق فازی راه ساده‌ای را برای رسیدن به یک نتیجه قطعی و معین بر پایه اطلاعات ورودی ناقص، خطادار، مبهم و دوپهلو فراهم می‌کند.

در اینجا لازم است از همه‌ی عزیزانی که ما را در مراحل مختلف چاپ و ترجمه این کتاب یاری نمودند، مخصوصاً سرکار خانم مهندس رضوان شمس و آقای مهندس احسان غریب رضا صمیمانه تشکر نماییم. اینجانبان سعی کردیم که در عین امانتداری در ترجمه، مفاهیم کتاب را حتی‌المقدور ساده

و روان بیان نماییم. در انتها امیدواریم کتاب حاضر مورد توجه و استفاده خوانندگان محترم قرار گیـرد. اما بی‌شک چنین کتاب پر حجم و جدیدی خالی از اشکال نیست، لذا از کلیه صاحب‌نظـران، اسـاتید و متخصصان صنعت و دانشگاه که با نظرات و پیشنهادهای خـود مـا را در پیراسـته‌تـر شـدن ایـن اثـر و اصلاح چاپ‌های بعدی یاری می‌نمایند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

امید آنکه توانسته باشیم، با ترجمه این کتاب، خدمت ناچیزی را به جامعه علمی و صـنعت کشـور عرضه کرده باشیم.

صاحب‌نظران محترم می‌توانند نظرات خود را به ایمیل‌های زیر ارسال نمایند:

hematianmilad@yahoo.com , mjoorabian@scu.ac.ir

فهرست مطالب

فصل ۱ / مقدمه ۱۵

۱-۱ سیستم‌های فازی ۱۶
۱-۲ دانش تخصصی ۱۷
۱-۳ استفاده از کنترل فازی؛ چه موقع و چه موقع نه ۱۸
۱-۴ کنترل ۱۹
۱-۵ اتصال چندین زیرسیستم ۲۲
۱-۶ شناسایی و کنترل تطبیقی ۲۳
۱-۷ خلاصه ۲۵

فصل ۲ / مفاهیم بنیادین مجموعه‌های فازی ۲۷

۲-۱ مجموعه‌های فازی ۲۷
۲-۲ مفاهیم سودمند برای مجموعه‌های فازی ۳۲
۲-۳ برخی اعمال منطقی و مربوط به نظریه‌ی مجموعه‌ها بر روی مجموعه‌های فازی ۳۳
۲-۴ مثال ۳۵
۲-۵ مجموعه‌های فازی تک عضوی ۴۰
۲-۶ خلاصه ۴۱

فصل ۳ / سیستم‌های فازی ممدانی ۴۵

۳-۱ پایگاه قانون و قوانین اگر-آنگاه ۴۵
۳-۲ سیستم‌های فازی ۴۷
۳-۳ فازی‌سازی ۴۸
۳-۴ استنتاج ۴۸
۳-۵ غیر فازی‌سازی ۵۰

۳-۵-۱ غیر فازی‌سازی مرکز ثقل (COG) ۵۰
۳-۵-۲ غیرفازی‌سازی میانگین مرکز (CA) ۵۱
۳-۶ مثال: سیستم فازی برای خنکی باد ۵۱
۳-۶-۱ محاسبه‌ی خنکی باد، T-norm مینیمم، غیر فازی‌سازی COG ۵۴
۳-۶-۲ محاسبه‌ی خنکی باد، T-norm مینیمم، غیرفازی‌سازی CA ۵۸
۳-۶-۳ محاسبه‌ی خنکی باد، T-norm حاصل‌ضرب، غیر فازی‌سازی COG ۵۸
۳-۶-۴ محاسبه‌ی خنکی باد، T-norm حاصل‌ضرب، غیر فازی‌سازی CA ۶۱
۳-۶-۵ محاسبه خنکی باد، مجموعه‌های فازی خروجی تک عضوی، T-norm حاصل‌ضرب، غیر فازی‌سازی CA ۶۲
۳-۷ خلاصه ۶۲

فصل ۴ / کنترل فازی با سیستم ممدانی ۶۷

۴-۱ کنترل تعقیبی با یک جبران‌ساز کاسکاد ممدانی ۶۸
۴-۱-۱ طراحی اولیه‌ی جبران‌ساز فازی: سیستم توپ و تیرک ۶۹
۴-۱-۲ تعیین پایگاه قانون: سیستم توپ و تیرک ۷۲
۴-۱-۳ استنتاج: سیستم توپ و تیرک ۷۵
۴-۱-۴ غیرفازی‌سازی: سیستم توپ و تیرک ۷۵
۴-۲ تنظیم بهبود عملکرد به‌وسیله‌ی تنظیم بهره‌های مقیاس بندی ۷۶
۴-۳ تأثیر شکل‌های تابع عضویت ورودی ۸۰
۴-۴ تبدیل کنترل‌کننده‌های PID به کنترل‌کننده‌های فازی ۸۳
۴-۴-۱ طراحی مجدد برای افزایش قدرت ۸۷
۴-۵ کنترل فازی افزایشی ۹۰
۴-۶ خلاصه ۹۳

فصل ۵ / روش‌های مفید کنترل و مدل‌سازی برای کنترل فازی ۹۷

۵-۱ فرم مدل‌ها برای سیستم‌های زمان – پیوسته ۹۷
۵-۱-۱ مدل‌های فضای حالت زمان پیوسته‌ی نامتغیر با زمان غیرخطی ۹۸
۵-۱-۲ مدل‌های فضای حالت زمان پیوسته‌ی نامتغیر با زمان خطی ۱۰۰
۵-۲ فرم مدل‌ها برای سیستم‌های زمان – گسسته ۱۰۱

۵-۲-۱ مدل معادله دیفرانسیل ورودی – خروجی برای سیستم‌های زمان – گسسته‌ی خطی ۱۰۲
۵-۲-۲ مدل‌های فضای حالت زمان گسسته‌ی نامتغیر با زمان خطی ۱۰۳
۵-۳ برخی روش‌های کنترلی رایج مفید در کنترل فازی ۱۰۵
۵-۳-۱ کنترل تعیین مکان قطب ۱۰۵
۵-۳-۲ کنترل تعقیبی ۱۰۸
۵-۳-۳ کنترل مرجع مدل ۱۰۹
۵-۳-۴ خطی‌سازی فیدبک ۱۱۱
۵-۴ خلاصه ۱۱۳

فصل ۶ / سیستم‌های فازی تاکاگی – سوجنو ۱۱۷

۶-۱ سیستم‌های فازی تاکاگی – سوجنو به عنوان درون‌یاب میان توابع بدون حافظه ۱۱۸
۶-۲ سیستم‌های فازی تاکاگی– سوجنو به عنوان درون‌یاب میان سیستم‌های دینامیکی فضای حالت خطی زمان- پیوسته ۱۲۲
۶-۳ سیستم‌های فازی تاکاگی- سوجنو به عنوان درون‌یاب میان سیستم‌های دینامیکی فضای حالت خطی زمان گسسته ۱۲۶
۶-۴ سیستم‌های فازی تاکاگی– سوجنو به عنوان درون‌یاب میان سیستم‌های دینامیکی زمان گسسته‌ی توصیف شده توسط معادلات دیفرانسیل ورودی–خروجی ۱۲۹
۶-۵ خلاصه ۱۳۱

فصل ۷ / کنترل توزیع شده‌ی موازی با سیستم‌های فازی تاکاگی- سوجنو ۱۳۹

۷-۱ سیستم‌های زمان پیوسته ۱۴۰
۷-۲ سیستم‌های زمان – گسسته ۱۴۳
۷-۳ کنترل تعقیبی توزیع شده‌ی موازی ۱۴۶
۷-۴ کنترل مرجع مدل توزیع شده‌ی موازی ۱۴۹
۷-۵ خلاصه ۱۵۲

فصل ۸ / تخمین توابع غیرخطی استاتیک از طریق داده ۱۵۵

۸-۱ تخمین حداقل مربعات ۱۵۶
۸-۱-۱ حداقل مربعات دسته‌ای ۱۵۶
۸-۱-۲ حداقل مربعات بازگشتی ۱۵۸

۸-۲ تخمین فازی حداقل مربعات دسته‌ای در فرم ممدانی ۱۵۹
۸-۳ تخمین فازی حداقل مربعات بازگشتی در فرم ممدانی ۱۶۸
۸-۴ تخمین فازی حداقل مربعات در فرم تاکاگی - سوجنو ۱۷۱
۸-۵ تخمین فازی گرادیانی در فرم ممدانی ۱۷۲
۸-۶ تخمین فازی گرادیانی در فرم تاکاگی- سوجنو ۱۸۲
۸-۷ خلاصه ۱۸۴

فصل ۹ / مدل‌سازی مجموعه‌های دینامیکی به‌صورت سیستم‌های فازی ۱۸۷

۹-۱ مدلسازی مجموعه‌های شناخته شده به‌صورت سیستم‌های فازی **T-S** ۱۸۸
۹-۲ شناسایی در فرم معادله دیفرانسیل ورودی – خروجی ۱۹۳
۹-۲-۱ شناسایی حداقل مربعات دسته‌ای در فرم معادله دیفرانسیل ورودی – خروجی ۱۹۴
۹-۲-۲ شناسایی حداقل مربعات بازگشتی در فرم معادله دیفرانسیل ورودی – خروجی ۱۹۹
۹-۲-۳ شناسایی گرادیانی در فرم معادله دیفرانسیل ورودی – خروجی ۲۰۱
۹-۳ شناسایی در فرم کمپنیون ۲۰۳
۹-۳-۱ شناسایی حداقل مربعات در فرم کمپنیون ۲۰۳
۹-۳-۲ شناسایی گرادیانی در فرم کمپانیون ۲۰۵
۹-۴ خلاصه ۲۰۸

فصل ۱۰ / کنترل فازی تطبیقی ۲۱۱

۱۰-۱ کنترل تعقیبی فازی تطبیقی مستقیم ۲۱۲
۱۰-۲ کنترل مرجع مدل فازی تطبیقی مستقیم ۲۱۶
۱۰-۳ کنترل تعقیبی فازی تطبیقی غیرمستقیم ۲۱۷
۱۰-۴ کنترل مرجع مدل فازی تطبیقی غیرمستقیم ۲۲۲
۱۰-۵ کنترل خطی‌سازی فیدبک تطبیقی ۲۲۸
۱۰-۶ خلاصه ۲۳۲

واژه‌نامه و پیوست (برنامه‌های کامپیوتری) ۲۳۵
مراجع ۲۷۹