

طرح یک نظام آزمایشگاهی هماهنگ برای آشنایی دانشجویان دانشگاه‌های ایران با روش‌های کنترل هوشمند

فریدون شعبانی نیا، محمدحسین شفیعی

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شیراز

چکیده: با توجه به اهمیت و وجود زمینه‌های مساعد برای پژوهش و تحقیقات در سیستم‌های هوشمند، ایجاد یک حرکت روبه‌رشد و هماهنگ در دانشگاه‌های ایران ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله سعی شده است تا با طرح یک نظام جامع، فضای مناسب برای برداشتن اولین قدم به سمت تحقیقات فراگیر فراهم شود، زیرا تا زمانی که حرکت هماهنگ و منسجم در دانشگاه‌های کشور به سمت روش‌های کنترل خیره انجام نشود، شاهد رشد چندانی نخواهیم بود. این مقاله ابتدا به بیان عکس‌العمل جامعه علمی در برابر روش‌های جدید کنترل می‌پردازد، سپس شاخه‌های مختلف در مباحث کنترل را نام می‌برد و به صورت جزئی‌تر به مباحث مهم در روش‌های کنترل هوشمند توجه می‌کند. آنگاه با مقایسه‌ای کوتاه جایگاه روش‌های سنتی و جدید را مشخص می‌کند. همچنین، مقدمات یک برنامه دوازده هفته‌ای برای یک آزمایشگاه کنترل هوشمند بیان می‌شود که قسمت عمده این طرح انجام‌دادن چند پروژه کتلی است و در انتها به عنوان نمونه چند پروژه قابل کنترل با روش‌های جدید شرح داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کنترل هوشمند، منطق فازی، الگوریتم وفقی، آزمایشگاه کنترل مدرن شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک.

۱. مقدمه

یکی از دروس مهم و کاربردی در رشته مهندسی برق درس کنترل است. آموزش روش‌های کنترل سیستم‌ها باید شامل تمرین‌های عملی نیز باشد تا مکمل تئوری شود. در حالت کلی، درس کنترل شامل مدل‌سازی، آنالیز و طراحی یک سیستم کنترلی است. مشکل اصلی در حل یک مسئله کنترل، تعداد زیاد معادلات و پیچیده شدن مدل‌های ریاضی است که نیاز به داشتن وسایل محاسباتی مناسب را ایجاد می‌کند. امروزه، با رشد سریع روش‌های کنترل هوشمند بحث داغی میان طرفداران این روش‌ها و روش‌های معمول (ستتی یا Conventional) در گرفته است و مهندسان در استفاده از روش‌های جدید از خود مقاومت نشان می‌دهند که دلایل آن عبارت‌اند از:

۱. روش آنالیز قطعی برای اثبات برخی خصوصیات سیستم مثل پایداری یا کارآیی در کنترل هوشمند وجود ندارد؛

۲. سابقه سازمان یافته‌ای در مورد قابلیت اعتماد و قدرت چنین روش‌هایی ضبط نشده است؛

۳. تاکنون تحلیل‌های مقایسه‌ای کافی برای مشخص کردن مزایا و معایب آنها نسبت به روش‌های ستتی انجام نگرفته است؛

۴. مهندسان عملی هنوز در مورد سمت‌گیری‌های روش‌های هوشمند درک کافی و جامع ندارند.

با توجه به وجود فضای مناسب برای تحقیقات و آشناساختن دانش‌پژوهان با روش‌های مدرن کنترل، اکثر دانشگاه‌های مهم دنیا در حال ایجاد دوره‌های آزمایشگاهی در زمینه کنترل هوشمند هستند. این مقاله یک طرح کلی برای برپایی آزمایشگاه‌های کنترل هوشمند - با تأکید بیشتر بر منطق فازی - در دانشگاه‌های ایران است.

۲. مباحث اصلی کنترل

به‌طور کلی، رئوس مطالب را می‌توان به‌طور خلاصه چنین بیان کرد: سیستم‌های خطی، فیلتر کردن و تخمین در کنترل، کاربردهای کنترل - مثل کنترل ترن - سیستم‌های غیرخطی،

کنترل دیجیتال، سیستم‌های خطی پیشرفته، کنترل تصادفی^۱، کنترل وفقی^۲، کنترل بهینه، سیستم‌های گسترده، کنترل مقاوم^۳ و کنترل هوشمند.

چون در این مقاله سمت‌گیری به سوی کنترل هوشمند است، آن را با جزئیات بیشتری بررسی می‌کنیم. وقتی سخن از کنترل هوشمند به میان می‌آید، در ذهن سه مبحث منطق فازی، شبکه‌های عصبی و الگوریتم تداعی می‌شود. البته، کنترل هوشمند به این سه روش محدود نمی‌شود، اما این روش‌ها از مهمترین و رایج‌ترین روش‌ها محسوب می‌شوند.

۱.۲. نمونه‌هایی از مباحث مهم روش‌های کنترل هوشمند

۱. کنترل فازی که شامل کنترل مستقیم، وفقی و سرپرستی سیستم‌ها می‌شود؛
۲. شبکه‌های عصبی از قبیل پرسپترون‌های^۴ چندلایه، شبکه‌های عصبی با تابع اصلی شعاعی و کنترل و تخمین عصبی؛
۳. تحلیل پایداری سیستم‌های کنترلی عصبی / فازی وفقی؛
۴. سیستم‌های فازی / عصبی برای شناسایی و تخمین؛
۵. الگوریتم‌های ژنتیک برای طراحی کنترل به کمک کامپیوتر، کنترل وفقی و تخمین.

۳. روش‌های سنتی یا هوشمند

روش‌های کنترل سنتی برای سیستم‌هایی که معادله خروجی - ورودی آنها کاملاً مشخص باشد و بتوان به صورت یک مدل ریاضی دقیق سیستم را مدل کرد بازده خوبی دارند. البته، باید مدل ریاضی را برای کل سیستم تعریف کنیم؛ یعنی اگر حتی اجزای سیستم را بتوانیم مدل کنیم، کفایت نمی‌کند. در ضمن، سیستم تا خطی نباشد نمی‌توان آن را با یک تابع تبدیل مدل کرد. بنابراین، کل سیستم باید خطی - یا با تقریب، خطی - باشد.

۱. Stochastic

۲. Adaptive

۳. Robust

۴. Perceptrons

برخلاف طراحی کنترل کلاسیک که در آن به مدل ریاضی برای طراحی نیاز است، در روش فازی بدون داشتن هیچ مدلی از سیستم می‌توان کنترلر را در سطح بالایی طراحی کرد. بنابراین، جذابیت سیستم‌های فازی یا به طور کلی روش‌های کنترلی هوشمند در مورد کنترل سیستم‌های پیچیده، غیرخطی یا سیستم‌های با تعریف مبهم یا ناقص است. بنابراین، با توجه به بحث فوق معلوم می‌شود که در سیستم‌های خطی ساده و آنهایی که دارای مدل ریاضی دقیق هستند، استفاده از روش سنتی معقول‌تر است. اما در مورد سیستم‌های غیرخطی، پیچیده یا مبهم روش کنترل هوشمند مناسب‌تر به نظر می‌رسد. پیاده‌سازی روش سنتی آسانتر خواهد بود و پس از طراحی، پایداری آن از نظر ریاضی کاملاً اثبات می‌شود، در حالی که پیاده‌سازی روش‌های هوشمند مشکل‌تر است و پایداری آن با یک روش منسجم ریاضی اثبات نمی‌شود. پس علاوه بر سادگی در جاهایی که ناپایداری سیستم ممکن است زیان سنگین - جانی یا مالی - در پی داشته باشد، باید از روش‌های مطمئن‌تر استفاده کنیم.

۴. راهکارها

با توجه به توضیحات مذکور، نیاز به تحقیق جامع و دقیق محسوس است، زیرا در زمینه سیستم‌های هوشمند، فضا برای پژوهش مهیاست و در مقایسه با روش‌های معمول کنترل که تقریباً به اشباع رسیده‌اند، در روش‌های جدید هنوز امکان ابتکار و خلاقیت وجود دارد.

اولین راه، تشکیل یک گروه منسجم و فعال در یک مکان تحقیقاتی است تا با صرف وقت زیاد بتواند فعالیت‌های خود را در زمینه روش‌های کنترل هوشمند به نتیجه برسانند. اما این راه حل اگر چه از بعضی جهات مناسب است، ولی در نهایت به یک نتیجه محدود ختم می‌شود. بنابراین، باید فضایی را به وجود آورد تا یک سیستم عظیم مثل سیستم دانشگاهی کشور به پژوهش در این زمینه روی آورد. در این صورت یک گروه هماهنگ کننده مورد نیاز است تا نتیجه تحقیقات را جمع‌آوری کند و در اختیار قسمت‌های دیگر سیستم قرار دهد. در حال حاضر، با توجه به نیاز یاد شده برآنیم تا با یک برنامه‌ریزی مناسب برای ایجاد آزمایشگاه‌های کنترل هوشمند اولین قدم را در راه ایجاد این جو تحقیقاتی در دانشگاه‌های کشور برداریم. بنابراین، در انتهای این مقاله به طرح یک سیستم منظم و در عین حال قابل

انعطاف و منطبق با روحیات دانشجویان می‌پردازیم. این طرح شامل یک برنامه‌ی زمانی برای دوازده هفته‌ی یک آزمایشگاه کنترل است. همچنین در ادامه، چند پروژه به‌عنوان نمونه بیان می‌شود. بدیهی است که سیستم‌های قابل کنترل به این چند مورد ختم نمی‌شود و هر دانشگاه می‌تواند با توجه به امکانات خود تعدادی از پروژه‌ها را حذف یا اضافه کند.

۵. برنامه‌ی زمان‌بندی

در این طرح فرض بر این است که در یک نیمسال، دوازده هفته مفید وجود دارد. بدیهی است در صورت وجود تعطیلی و کمبود تعداد جلسات، نیاز به برگزاری کلاس جبرانی است. این برنامه ارائه شده به صورتی است که در عین منظم بودن به دانشجو اجازه می‌دهد تا پروژه مورد علاقه‌اش را انتخاب کند.

۱.۵. هفته اول

آشنایی با نرم‌افزار: چون قسمت عمده‌ای از کار کنترل در این دوره با کامپیوتر انجام می‌شود، باید دانشجو آشنایی مختصری با بعضی از زبان‌های معروف برنامه‌نویسی مثل C، Matlab و ++C Borland داشته باشد. برای نیل به این منظور طراحی فیلترهای دیجیتال در C و Matlab و سپس مقایسه آن دو در این هفته در نظر گرفته شده است.

۲.۵. هفته دوم

آشنایی با سخت‌افزار: به‌منظور صرفه‌جویی در وقت دانشجو و همچنین، پرهیز از بی‌نظمی در محیط آزمایشگاه ارتباط کامپیوتر با فرایند مورد نظر برای کنترل، مداراتی طراحی و ساخته می‌شود تا اعمالی از قبیل تبدیلات آنالوگ و دیجیتال، تقویت سیگنال سنورها و... را انجام دهد. در این هفته علاوه بر آشنایی با قسمت‌های مختلف سخت‌افزار، دانش‌پژوهان برنامه فیلترهای دیجیتال را طوری تغییر می‌دهند که با سیگنال‌های فیزیکی (سیگنال سنورها و منابع تولید موج) عمل کنند.

۳.۵. هفته سوم

جعبه ابزارها^۱: به منظور استفاده از توابع و demo های نرم‌افزار Matlab در این بخش شبیه‌سازی یک کنترل‌گر فازی موتور DC در نظر گرفته شده است تا تجربه خوبی هم در زمینه طراحی یک کنترل‌گر فازی و هم استفاده از نرم‌افزار Matlab حاصل شود.

۴.۵. هفته چهارم

کنترل موتور DC: در این هفته نیز کار هفته سوم تکرار می‌شود، با این تفاوت که به جای شبیه‌سازی موتور DC، چند موتور واقعی با بارهای متفاوت کنترل می‌شوند تا نتایج کنترل موتورهای واقعی و شبیه‌سازی با هم مقایسه شود.

۵.۵. هفته‌های پنجم الی هشتم

پروژه‌های اصلی کنترل: در طول این چهار هفته، دانشجویان از پروژه‌هایی با سخت‌افزار ساخته شده، به دلخواه ۲ سیستم را کنترل می‌کنند. به عنوان مثال، موضوعات زیر مناسب به نظر می‌رسد:

پاندول معکوس چرخشی، سیستم توپ متعادل، بازوی قابل انعطاف، کنترل فرایند، کنترل موتور DC بدون جاروبک (BDCM) و کنترل موتور گازسوز. توضیح بیشتر در مورد هر کدام از این موضوعات در ادامه مقاله خواهد آمد.

۶.۵. هفته‌های نهم و دهم

کنترل فازی وفقی: دانشجویان در این دو هفته یکی از پروژه‌های بالا را توسط یک الگوریتم کنترلی فازی وفقی انجام می‌دهند تا کنترل‌گر، خود را با تغییر پارامترها وفق دهد و بازده بهتری را ایجاد کند. هدف از این قسمت علاوه بر آشنایی با کنترل فازی وفقی، مقایسه بازده این روش با روش کنترل فازی است.

۷.۵. هفته‌های یازدهم و دوازدهم

الگوریتم ژنتیک: در این دو هفته یکی از پروژه‌های کنترل شده با منطق فازی توسط الگوریتم ژنتیک بهینه می‌شود تا علاوه بر آشنایی با این روش بهینه‌سازی، مقایسه‌ای هم در زمینه بهبود بازده با روش‌های قبل صورت گیرد.

۶. سخت‌افزار مورد نیاز

برای هر یک از پروژه‌های اصلی باید یک مدار واسط طراحی شود که ارتباط سیستم را با کامپیوتر فراهم سازد. با توجه به حجم پردازش پایین این کار، به نظر می‌رسد یک کامپیوتر ۸۰۴۸۶ با سرعت ۵۰-۶۰MHz بتواند این کار را انجام دهد. برای انجام دادن مناسب پروژه‌ها به سخت‌افزارهای جانبی زیر نیاز است:

- مدار واسط OMRON FB-۳۰۰AT؛

- پردازنده فازی دیجیتال FB-۳۰۰۰ و نرم‌افزار واسط آن AT-۱۰۰FS؛

- اتصال شبکه اترنت؛

- کارت DAS-۲۰ از شرکت Keithley Instruments مربوط به Data acquisition؛

- حافظه RAM، ۱۶MB.

۷. توضیحات مربوط به پروژه‌های اصلی

۱.۷. پاندول معکوس چرخشی

یکی از مسایل کلاسیک در کنترل خطی، کنترل پاندول معکوس است که در آن یک گاری متحرک روی یک ریل خطی قرار دارد و با یک طناب یا زنجیر کشیده می‌شود و یک پاندول به صورت وارونه روی گاری قرار گرفته است. هدف از این پروژه، انتقال پاندول به حالت عمودی و سپس متعادل نگهداشتن آن است. پیاده‌سازی این سیستم مشکل است، زیرا نیاز به یک ریل بسیار طویل و یک سیستم حرکت خطی مناسب آن دارد. برای سادگی می‌توان پاندول را به یک بازوی چرخان متصل کرد و سپس با چرخش محور چرخان - به جای حرکت

گاری - پاندول را ثابت نگه داشت. به این سیستم پاندول معکوس چرخشی گویند. تجهیزات اضافی این پروژه عبارت است از مدارهای تبدیل آنالوگ به دیجیتال و بالعکس، مجموعه مکانیکی شامل یک پاندول و یک محور چرخان - به منظور جلوگیری از سنگین شدن سیستم می‌توان از میله‌های آلومینیومی استفاده کرد - دو رمزگشای نوری (زاویه سنج) با دقت ۰/۵ تا ۱ درجه و یک موتور DC با مغناطیس دایم نسبتاً بزرگ با گشتاور حالت سکون ۵ الی ۱۰ N.M. در ضمن، اگر در انتهای پاندول یک وزنه با جرم نامشخص یا یک بطری نیمه پر آب قرار دهیم، برای کنترل این سیستم به تکنیک‌های وقتی نیاز داریم.

۲.۷. سیستم توپ متعادل

در این سیستم یک توپ را روی یک میله قرار داده‌ایم و میله را توسط یک چرخ‌دنده با نسبت تبدیل نسبتاً بزرگی مثلاً (۱:۵۰) با (۱:۱۰۰) به محور یک موتور وصل کرده‌ایم تا بتوانیم زاویه میله را به دلخواه تغییر دهیم. هدف، کنترل حرکت توپ برای حرکت از یک نقطه اولیه - از حالت سکون - به یک نقطه دیگر در میله است. واضح است که توپ در محل دوم هم باید بایستد و پس از آن حرکت زیادی نداشته باشد. کمیت‌هایی که باید از سیستم نمونه‌گیری کنیم عبارت‌اند از: زاویه میله و محل توپ؛ زاویه میله را می‌توان از روی زاویه محور موتور با یک رمزگشای نوری به دست آورد. اما در مورد محل توپ دو روش برای اندازه‌گیری موجود است:

الف. روش مقاومت متغیر: در این روش حرکت توپ یک مقاومت متغیر را تغییر می‌دهد. با اندازه‌گیری این مقاومت و تبدیل آن به یک کد دیجیتال توسط A/D، این مقدار به وسیله کامپیوتر دریافت خواهد شد.

ب. روش منطقی گسسته: در این مورد تعدادی فرستنده و گیرنده نوری در طرفین میله قرار دارد و هنگام حرکت توپ در طول میله تعدادی از این پرتوها را قطع می‌کند و از روی آن محل توپ تشخیص داده می‌شود. این روش نیازی به تبدیل A/D ندارد.

هنگامی که از توپ‌های با اندازه مختلف استفاده می‌کنیم و همچنین، برای کنترل خاصیت‌های غیرخطی ذاتی سیستم - مثل نقاط انتهایی میله و یا مشکلات غیرخطی موتور

DC و... - باید از روش‌های وقتی استفاده کنیم و پارامترهای کنترلی را با تغییرات سیستم تطبیق دهیم.

۳.۷. بازوی قابل انعطاف

در سیستم‌های کنترلی خطی، بازوهای یک ربات را اجسامی محکم و غیرقابل انعطاف فرض می‌کنیم. بنابراین، محاسبات مکان انتهای بازو با توجه به طول بازو و زاویه موتور قابل محاسبه است. اما در عمل همیشه بازوها مقداری خمش دارند که هرچه طول بازو بیشتر و جنس آن نرم‌تر باشد، مقدار این خمش بیشتر می‌شود. در این موارد، دیگر به راحتی نمی‌توان محل انتهای بازو را محاسبه و کنترل کرد. در این پروژه یک بازوی قابل انعطاف داریم که توسط یک موتور DC می‌چرخد. در انتهای بازو یک منبع نور قرار دارد که نور حاصل روی دیوار یا پرده روبه‌رو می‌افتد. بنابراین، لرزش‌های کوچک را هم می‌توان روی دیوار یا پرده مشاهده کرد. اما این خروجی فقط برای دیدن نتیجه است و به عنوان نمونه‌گیری از خروجی استفاده نمی‌شود.

سنسورهای سیستم عبارت‌اند از:

الف. سنسور زاویه که روی محور موتور متصل است و زاویه بازو را اندازه می‌گیرد؛
ب. یک شتاب‌سنج که در انتهای بازو نصب شده است و شتاب خطی انتهای بازو را اندازه می‌گیرد. انواع مختلفی از این سنسور در بازار موجود است. به عنوان مثال، شرکت KISTLER این سنسور را همراه با مدار واسط آن طراحی کرده است و به مشتریان عرضه می‌کند.

هدف از این پروژه، تحقیق در باره قابلیت روش‌های کنترل هوشمند برای از بین بردن نوسانات ناخواسته در نقطه‌نهایی نور - وقتی که بازو حرکت‌های سریع و بزرگ دارد - است. بازو از یک نقطه در حالت سکون حرکت می‌کند و در نقطه دیگری (مقصد) می‌ایستد. وقتی به انتها بازو یک وزنه اضافه کنیم به روش‌های کنترل وقتی نیاز داریم.

۴.۷. کنترل فرایند

در فرایندهای شیمیایی گاهی لازم است در یک محفظه مایعی با ارتفاع و دمای معین ذخیره

شود تا فرایند مورد نظر در آن انجام شود. معمولاً سه محفظه از آن مایع را در اختیار داریم:

۱. محفظه سرد که در آن مایع با دمای کم نگهداری می‌شود؛

۲. محفظه گرم که در آن مایع با دمای بالا ذخیره می‌شود؛

۳. محفظه فرایند که مخلوط مایع‌های با دو دمای مختلف در آن وجود دارد.

علاوه بر محفظه‌ها سه ارتفاع سنج، دو دماسنج، دو مخلوط‌کننده، یک گرم‌کننده و چند پمپ نیز لازم است. ارتفاع سنج ترکیب یک پتانسیوتر و یک شناور است و برای اندازه‌گیری ارتفاع در سه محفظه به کار می‌رود. دو دماسنج در محفظه‌های گرم و فرایند قرار گرفته‌اند و دمای این دو محفظه را گزارش می‌دهند. مخلوط‌کننده‌ها نقش متعادل‌کننده دما را در تمام محفظه ایفا می‌کنند، زیرا در صورت نبودن آنها دما در نقاط مختلف متفاوت است و دماسنج فقط دمای نقطه‌ای را که در آن قرار دارد، اندازه می‌گیرد. پمپ‌ها هم برای انتقال مایع از محفظه‌ای به محفظه دیگر به کار می‌روند. اگر از پمپ AC استفاده کنیم، فقط با خاموش و روشن کردن می‌توانیم میزان عبور مایع را تنظیم کنیم، اما پمپ DC این قابلیت را دارد که با تنظیم ولتاژ آن می‌توان میزان عبور مایع را تنظیم کرد.

این نوع سیستم‌ها را معمولاً به دلیل تعداد زیاد ورودی و خروجی، پیچیدگی سیستم، تأخیرهای با اهمیت، غیرخطی بودن سیستم و نبودن یک مدل ریاضی مناسب نمی‌توان با روش‌های سنتی کنترل کرد. حتی گاهی مشکلاتی مانند نوسانات مایع‌ها، غیرخطی بودن نقاط ابتدایی و انتهایی یا کثیف شدن فیلتر پمپ‌ها باعث می‌شوند که به اجبار از روش‌های وقتی استفاده کنیم.

۵.۷. کنترل موتور DC بدون جاروبک BDCM

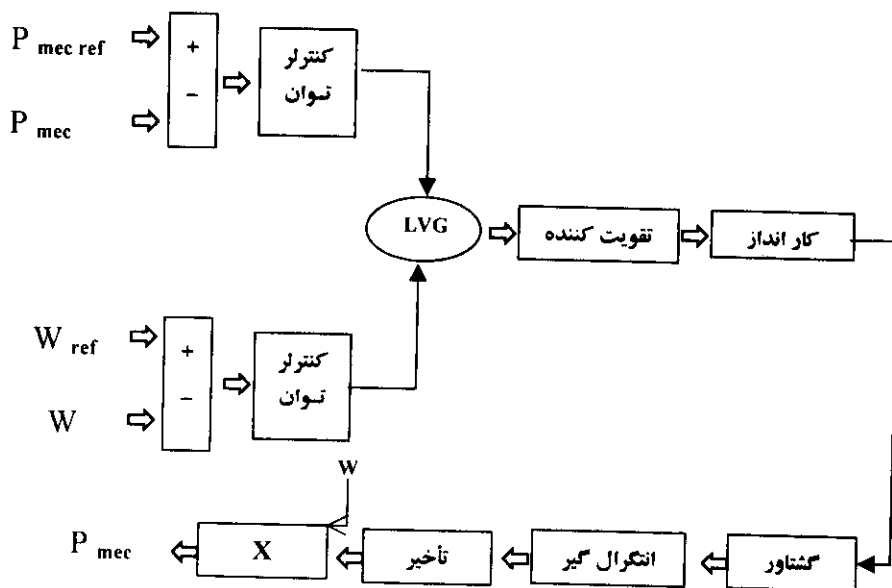
با فرض این که خواننده نسبت به موتورهای BDCM آگاهی کافی دارد و همچنین، منطق فازی را هم خوب می‌شناسد، در غیر این صورت خواننده می‌تواند به مراجع آخر مقاله رجوع کند، مستقیماً در باره مراحل کنترل سرعت بررسی می‌کنیم.

۱. نمونه‌گیری از سیگنال سرعت BDCM که توسط رمزگشای نوری محور موتور انجام می‌شود.

۲. محاسبه خطای سرعت و تغییرات آن.

۳. تعیین مجموعه‌های فازی و توابع عضویت.
۴. تعیین عمل کنترلی با توجه به قانون فازی.
۵. محاسبه خروجی کنترل‌گر به روش غیرفازی کردن^۱ ارتفاع.
۶. فرستادن دستور کنترلی به سیستم بعد از محاسبه خروجی.
- ۶.۷. کنترل موتور گازسوز

گاز طبیعی به عنوان یک سوخت برای موتورهای دیزل منافع زیادی دارد، اما بازده آن کمتر از موتور دیزل معمولی است. کنترلر گاز موتور به وسیله یک سری از معادلات دیفرانسیل خطی طراحی می‌شود که ارتباط بین سرعت موتور، توان مکانیکی، سرعت مرجع و سیگنال تغییرات بار را برقرار می‌کند. در این مورد معمولاً از دو کنترلر فازی استفاده می‌کنند و می‌توان تغییرات سرعت و مشتق آن را به عنوان ورودی‌های اولین کنترلر فازی و تغییرات توان مکانیکی تولید شده در موتور و مشتق آن را به عنوان ورودی‌های دومین کنترلر فازی در نظر گرفت. شکل زیر می‌تواند دید بهتری در باره مسئله به شما بدهد.



۱ LVG: مینیمم دو ورودی را در خروجی ظاهر می‌کند

۱. Defuzzification

۲. Least Value Gate

۸۴. نتیجه‌گیری

حرکت‌های فردی در یک زمینه علمی به دلیل ناهماهنگی و تکمیل نقاط قوت و ضعف یکدیگر، در اکثر موارد از یک حرکت محدود فراتر نمی‌روند، به خصوص در مواردی که تنوع مسئله مطرح شده از حد معمول بیشتر است. نبودن یک جو همسو به سمت هدف، موجب کسب بازده کمتری می‌شود. بنابراین، در این مقاله بر آن شدیم تا با طرح یک آزمایشگاه به نام آزمایشگاه کنترل مدرن که به زمینه‌های هوشمند کنترل می‌پردازند، به بیان یک راهکار به منظور ایجاد یک حرکت کلی در نظام دانشگاهی کشور به سمت این علم نوپا بپردازیم. مهمترین نکته‌ای که در این مقاله مورد نظر قرار گرفته است، ایجاد یک سیستم منظم و در عین حال قابل انعطاف است تا علاوه بر احساس آزادی و اختیار عمل دانشجو، روند انجام شدن تحقیقات به گونه‌ای منظم باشد که بتوان چندین آزمایشگاه را با هم تطبیق داد تا از علم و تجربه یکدیگر استفاده کنند و در پایان دوره هم نتیجه تحقیقات را جمع‌آوری کرد و آن را به کار گرفت. همچنین، به دلیل نبودن تجربه قوی در این مورد، چند مثال از پروژه‌های انجام‌شده در یک آزمایشگاه دانشجویی بیان شده است که می‌تواند در آشنایی با حجم و نوع کار مؤثر باشد.

مراجع

1. Yurkovich, S. and Passino, Kevin M., A Laboratory Course on Fuzzy Control, IEEE Trans. Educ. Vol. 42, Feb. 1999.
2. Jurado, F., Castro, M. and Carpio, J. Experiences with fuzzy logic and neural networks in a control course, IEEE Trans. Educ. Vol. 45, No. 2, May 2002.
3. Akcayol M., Ali, Cetin A. and Elmas, C., An education tool for fuzzy logic controlled BDCM, IEEE Trans. Educ. Vol. 45, No. 1, Feb. 2002.
4. Ozguner, U. Three - course control laboratory sequence. IEEE Cont. Syst., Vol. 8, No. 3, 1989.
5. Bay, O.F., Fuzzy control of a field orientation controlled induction motor,

- J. Polytechnic, Vol. 2, No. 2, pp. 1-9, 1999.
6. Elmas, C. and Ackayol, M.A., Fuzzy logic controller based speed control of brushless DC motor, J. Polytechnic, Vol. 3, No. 3, pp. 7-14, 2000.
 7. Widjaja, M. and Yurkovich, S., Intelligent control for swing up and balancing of an inverted pendulum system, in proc. 4th IEEE Conf. Control Applications, pp. 534-542, 1995.
 8. Laukonen, E. and Yurkovich, S., A ball beam testbed for fuzzy identification and control, in Proc. Amer. Contr. Conf. San Francisco, CA, 1993.
 9. Yurkovich, S., Pacheco, F.E. and Tzes, A.P., On-line frequency domain information for control of a flexible - link robot with varying payload, IEEE Trans. Automat. Contr. Vol. 34, No. 12, 1989.
 10. Moudgal, V.G., Kwong, W.A., Passino, K.M. and Yurkocich, S., Fuzzy learning control for a flexible link robot, IEEE Trans. Fuzzy Syst. Vol. 3, pp. 199-210, May 1995.
 11. Zumberge, J. and Passino, K.M., A case study in intelligent control for a process control experiment, in pro. IEEE Int. Symp. Intell. Contr. Dearborn, MI. Sept. 1996.
 12. Heywood, J.B, Internal combustion engine fundamentals, New York: McGraw-Hill, 1988.
 13. Ramos, J.I., Internal combustion engine modelling, New York: Hemisphere, 1989.
 14. Lily, L.R.C., Diesel engine reference book, 2nd ed. Oxford, U.K.: Butter Worth - Heinemanny, 1999.