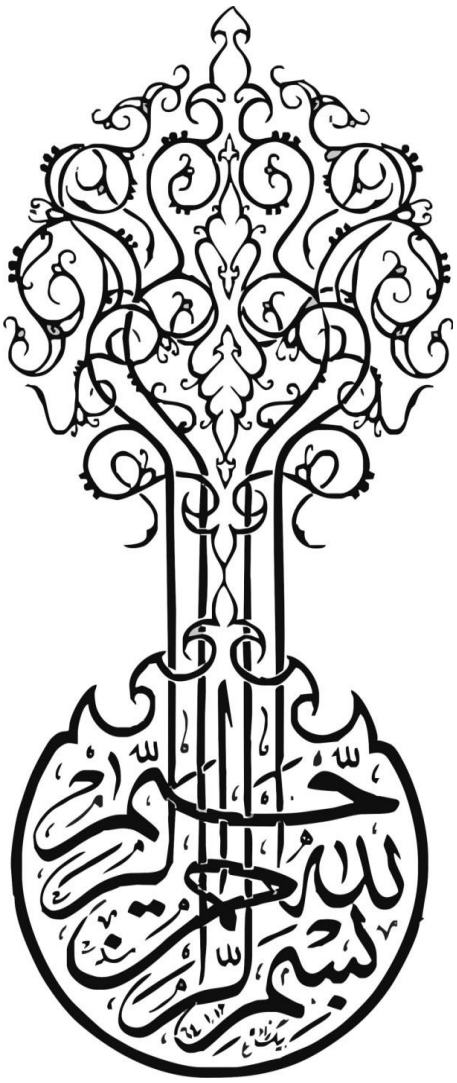

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده : مرکز آموزش الکترونیکی
گروه : مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

استخراج قانون از داده‌های نامطمئن در سیستم‌های خبره

علیرضا ریاضتی کشه

استاد راهنما
دکتر هدی مشایخی

استاد مشاور
دکتر مرتضی زاهدی

شهریور ۱۳۹۴

دانشگاه شاهرود

دانشکده : مرکز آموزش الکترونیکی

گروه : مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای علیرضا ریاضتی کشه به شماره دانشجویی : ۹۲۰۷۴۱۴

تحت عنوان:

استخراج قانون از داده‌های نامطمئن در سیستم‌های خبره

در تاریخ ۱۳۹۴/۰۶/۳۱ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد ..... مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
دکتر هدی مشایخی		دکتر مرتضی زاهدی	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
دکتر حمید حسن پور		مهندس محسن فرهادی	
دکتر علی‌اکبر پویان			

تقدیم اثر

تقدیم به او که آموخت مرا تا بیاموزم

تقدیم به استاد گرامی خانم دکتر مشایخی که راهنمایی‌های ایشان در راستای این پژوهش و دوره تحصیلی روشنگر راهم بود و صمیمانه از زحماتشان تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تقدیم به استاد گرامی جناب آقای دکتر زاهدی که در طول تحصیل و تحقق این پژوهش همواره با مشاوره‌های ارزنده در ایجاد توانایی و انگیزه برای کسب دانش به من کمک کرده‌اند.

تقدیم به اساتید محترم جناب آقای دکتر پویان و جناب آقای دکتر حسن‌پور که در طول تحصیل با عنایت به اهداف زیبای آموزش و توسعه دانش همواره ما را یاری داده‌اند.

تقدیم به آنان که وجودم جز هدیه وجودشان نیست

تقدیم به روح پاک پدرم

تقدیم به مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

از اساتید بزرگوار دانشگاه شاهرود، همکاران محترم بخش آموزش، مرکز آموزش‌های الکترونیکی، واحد کتابخانه و سایر بخش‌های دانشگاه که هدفشان ارتقاء و توسعه دانش برای سرافرازی هر چه بیشتر میهن عزیزمان است تشکر و قدردانی می‌نمایم و برایشان آرزوی سلامتی همیشگی دارم.

از مادرم که صبورانه با تحمل همه مشکلات در طول تحصیل و ارتقاء شغلی‌ام موجب موفقیت نقطه به نقطه زندگی و پشتیبانم بوده است تشکر می‌نمایم هر چند این تشکر به اندازه یک دم خسته ایشان کفایت نمی‌کند و از همه عزیزان و دوستانم که با رهنمودها و مشاوره مرا هدایت فرمودند نیز تشکر و قدردانی می‌نمایم.

علیرضا ریاضتی

۱۳۹۴

تعهدنامه

اینجانب علیرضا ریاضتی کشه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی دانشکده مرکز آموزش الکترونیکی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان‌نامه "استخراج قانون از داده‌های نامطمئن در سیستم‌های خبره" تحت راهنمایی استاد گرامی خانم دکتر مشایخی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود» و یا «Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.
- **تاریخ**

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.**

چکیده

امروزه سیستم‌های خبره مبتنی بر قوانین[1]، در جهات مختلفی کاربرد دارند. در سیستم‌های خبره فازی از قوانین جهت استنتاج فازی استفاده می‌شود. این سیستم‌ها از لحاظ دارا بودن تعداد مناسبی از قوانین و پوشش کامل حالات مختلف سیستم به دو دسته مطمئن و نامطمئن تقسیم می‌شوند. یک سیستم مطمئن با داشتن قوانین لازم و کافی می‌تواند کلیه داده‌های ورودی را پوشش داده و به ازای هر ورودی، حداقل یک قانون را فعال نماید. در سیستم نامطمئن حداقل یک ورودی وجود دارد که به ازای آن، هیچ قانونی برای استنتاج و ارائه خروجی وجود ندارد. در این پژوهش ما کمبود قوانین را مورد بررسی قرار می‌دهیم. به این منظور ابتدا عدم وجود قوانین در سیستم را تشخیص داده و سپس قانون جاافتاده را به سیستم تزریق می‌نماییم. با استفاده از درون‌یابی قوانین فازی[2] به روش محاسبه کمترین مربعات خطا[3]، سعی می‌کنیم بهترین قانون نامزد را جایگزین قانون جاافتاده نماییم. در ادامه روش پیشنهادی را با برخی روش‌های موجود درون‌یابی قوانین فازی مقایسه خواهیم نمود.

کلمات کلیدی:

درون‌یابی قوانین فازی، استخراج قانون جاافتاده، سیستم‌های خبره فازی

1 Rule Based Expert Systems
2 Fuzzy Rules Interpolation
3 Least Square Error (LSE)

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ی

فهرست اشکال ..... ک

فهرست علائم و نشانه‌ها ..... م

فصل ۱- مقدمه ۲

۱ـ۱ـ شرح مسئله ۲

۱ـ۲ـ اهمیت انجام پژوهش ۴

۱ـ۳ـ هدف پژوهش ۵

فصل ۲- ادبیات پژوهش ۸

۲ـ۱ـ تعریف نظری و عملیاتی مفاهیم و متغیرها ۸

۲ـ۲ـ بررسی پژوهش‌های انجام‌شده ۱۸

فصل ۳- پیشنهاد روش استخراج قانون ۲۶

۳ـ۱ـ درون‌یابی فازی قوانین با استفاده از کمترین مربعات خطا ۲۹

۳ـ۲ـ استخراج قانون ۳۲

فصل ۴- پیاده‌سازی و ارزیابی روش معرفی‌شده برای سناریوی دنیای واقعی ۳۴

۴ـ۱ـ روش اجرای پژوهش ۳۴

۴ـ۲ـ تشخیص عدم وجود قانون در سیستم (تعریف نقاط بحرانی) ۳۹

۴ـ۳ـ درون‌یابی فازی قوانین با استفاده از کمترین مربعات خطا ۴۳

۴ـ۴ـ استخراج قانون ۴۴

۴ـ۵ـ مقایسه روش معرفی‌شده با سایر روش‌ها ۵۰

۴ـ۶ـ ارزیابی ۵۳

فصل ۵- بحث و نتیجه‌گیری ۵۸

۵ـ۱ـ بحث و نتیجه‌گیری ۵۸

۵ـ۲ـ پیشنهادها ۶۲

ضمیمه أ - لیست برخی از دستورات در نرم‌افزار متلب ۶۴

فهرست مراجع ۶۵

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۶۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱. پارامترهای ورودی سیستم FIS [16] ۱۱
جدول ۲-۲. پارامترهای خروجی سیستم FIS [16] ۱۱
جدول ۲-۳. محدوده پارامترهای مجاز برای سیستم [16] ۱۲
جدول ۲-۴. لیست متغیرهای زبانی [16] ۱۲
جدول ۲-۵. نمونه‌ای از قوانین موجود در پایگاه دانش [16] ۱۴
جدول ۳-۱. تعریف متغیرهای زبانی برای توابع عضویت ۲۷

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱. نمونه‌ای از یک سیستم FIS [16] ۱۰
شکل ۲-۲. تابع عضویت برای پارامتر ورودی [16] ۱۳
شکل ۲-۳. تابع عضویت برای پارامتر خروجی [16] ۱۳
شکل ۲-۴. لیستی از قوانین موجود در سیستم [16] ۱۵
شکل ۲-۵. استفاده از عملگرهای منطقی برای ترکیب متغیرها [16] ۱۵
شکل ۶۲-. دمای اتاق و رطوبت ورودی، سرعت موتور دما-رطوبت خروجی [16] ۱۶
شکل ۲-۷. میزان ذرات معلق و گاز بی‌هوشی ورودی، سرعت موتور هوا خروجی [16] ۱۷
شکل ۲-۸. اکسیژن و ذرات معلق هوا ورودی، سرعت موتور هوا خروجی [16] ۱۷
شکل ۲-۹. اکسیژن و میزان گاز بی‌هوشی ورودی، سرعت موتور هوا خروجی [16] ۱۸
شکل ۲-۱۰. نمایش خروجی یکی از روش‌های بهینه‌سازی شده موجود [12] ۲۳
شکل ۳-۱. توابع عضویت برای پارامتر ورودی (زاویه جت و موشک) ۲۸
شکل ۳-۲. توابع عضویت برای پارامتر خروجی (زاویه تنظیم‌شده) ۲۸
شکل ۳-۳. نمایش ۴ قانون بر روی صفحه دو بعدی x-y ۲۸
شکل ۳-۴. محاسبه بیشینه فاصله میان قوانین با علامت‌گذاری وسط آن ۳۰
شکل ۳-۵. خط درون‌یابی میان ۴ قانون ۳۱
شکل ۳-۶. شکل فازی قانون استخراج‌شده ۳۲
شکل ۳-۷. نمایش خروجی روش معرفی‌شده ۳۲
شکل ۴-۱. نمایش قانون فازی اول – R1 ..... ۳۷
شکل ۴-۲. نمایش قانون فازی دوم – R2 ..... ۳۷
شکل ۴-۳. نمایش قانون فازی سوم – R3 ..... ۳۸
شکل ۴-۴. نمایش قانون فازی چهارم – R4 ..... ۳۸
شکل ۴-۵. نمایش ۴ قانون بر روی صفحه دو بعدی x-y ۳۹
شکل ۴-۶. قوانین ۱ الی ۴ به ترتیب از پایین به بالا ۴۰

فهرست اشکال

شکل ۴-۷. ورودی و خروجی سیستم قبل از استخراج قانون ۴۰
شکل ۴-۸. فاصله میان قانون اول و دوم به عنوان حداکثر فاصله میان قوانین ۴۲
شکل ۴-۹. نمایش بیشینه فاصله میان قوانین با علامت‌گذاری وسط آن ۴۲
شکل ۴-۱۰. درون‌یابی قوانین با خط y=ax+b ۴۳
شکل ۴-۱۱. شکل تابع عضویت ورودی برای قانون جاافتاده ۴۵
شکل ۴-۱۲. شکل تابع عضویت خروجی برای قانون جاافتاده ۴۵
شکل ۴-۱۳. شکل فازی قانون جاافتاده پس از استخراج ۴۶
شکل ۴-۱۴. نمایش خط درون‌یابی بر روی ۴ قانون موجود در سیستم ۴۶
شکل ۴-۱۵. نمایش قانون فعال‌شده با اجرای سیستم جت/موشک ۴۷
شکل ۴-۱۶. اجرای سیستم FIS جت/موشک بعد از استخراج قانون ۴۸
شکل ۴-۱۷. اجرای سیستم FIS جت/موشک قبل از استخراج قانون ۴۸
شکل ۴-۱۸. ورودی و خروجی سیستم به ازای ۴ قانون (قبل از استخراج قانون) ۴۹
شکل ۴-۱۹. ورودی و خروجی سیستم به ازای ۵ قانون (بعد از استخراج قانون) ۴۹
شکل ۴-۲۰. نمایش بخش مقدمه قانون جاافتاده با استفاده از روش معرفی‌شده ۵۰
شکل ۴-۲۱. نمایش بخش نتیجه قانون جاافتاده با استفاده از روش معرفی‌شده ۵۰
شکل ۴-۲۲. روش KH ۵۱
شکل ۴-۲۳. روش CRF ۵۱
شکل ۴-۲۴. روش VKK ۵۱
شکل ۴-۲۵. روش KH stabilized ۵۲
شکل ۴-۲۶. روش IMUL ۵۲
شکل ۴-۲۷. روش MACI ۵۲
شکل ۴-۲۸. مقایسه خروجی روش معرفی‌شده با برخی روش‌های موجود ۵۳
شکل ۵-۱. نمایش خروجی حاصل از روش معرفی‌شده ۵۸

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
نماد مقدار عضویت برای مقادیر فازی	μ
نماد فازی	~
نماد مقدار خطا	E

فصل اول

مقدمه

فصل ۱ــ مقدمه

۱ـ۱ـ شرح مسئله

امروزه سیستم‌های خبره مبتنی بر قوانین[1]، در کاربردهای مختلفی از جمله حوزه‌های فنی مهندسی، پزشکی، صنعتی و غیره کاربرد دارند [1]. در این پژوهش، سیستم خبره فازی که یکی از زیرشاخه‌های سیستم‌های خبره مبتنی بر قوانین هستند را بررسی خواهیم کرد. به طور کلی یک سیستم خبره فازی از بخش‌های پایگاه دانش[2]، موتور استنتاج فازی[3]، فازی سازی و فازی زدایی تشکیل شده است. قوانین فازی در پایگاه دانش قرار دارد. قوانین فازی از منابع مختلفی قابل تولید می‌باشد [1]. در این مقاله فرض بر آن است که قوانین قبلاً توسط شخص خبره تعیین شده است. به دلایل متعددی ممکن است شخص خبره مجموعه کامل قوانینی که برای سیستم لازم و کافی باشند را درون سیستم قرار ندهد. کم تکرار بودن برخی حالات، فراموشی شخص خبره، برداشت اشتباه مهندس دانش و غیره از دلایل این رخداد است [1]. لذا این‌گونه سیستم‌ها دارای قوانین زائد بوده یا فاقد برخی قوانین لازم در پایگاه دانش (پایگاه قواعد) می‌باشند.

در این مقاله به بررسی سیستم‌هایی می‌پردازیم که در پایگاه دانش آن‌ها قانون جاافتاده وجود دارد و به علت فقدان قانون، سیستم فاقد خروجی متناظر با حداقل یک ورودی است. مجموعه داده‌های ورودی و خروجی متناظر، بسته به کاربرد سیستم می‌توانند پیوسته باشند. در چنین سیستمی به علت فقدان قانون ممکن است مراحل استنتاج طولانی شده و سیستم از دقت کافی برخوردار نباشد.

از این رو ابتدا قوانین موجود را به نقاط فازی تبدیل کرده و از درون‌یابی برای مدل‌کردن فضای قوانین استفاده می‌کنیم. سپس با بررسی زیرمجموعه‌ای از داده‌های ورودی که توسط قوانین موجود پوشش داده نمی‌شوند، قانون جدید مناسبی را با استفاده از مدل درون‌یابی شده به سیستم اضافه می‌کنیم. به این ترتیب با ورود هر مقدار از دامنه داده‌های ورودی، سیستم با استنتاج توسط قوانین در دست می‌تواند خروجی مناسب را تولید نماید.

[1] Rule Based Expert Systems
[2] Khowledge Database
[3] Fuzzy Inference Motor

در این روش محدودیتی برای داده‌ها وجود ندارد به صورتی که هر بازه پیوسته‌ای از اعداد حقیقی به عنوان مقادیر ورودی و خروجی برای یک سیستم قابل تعریف است. در این مقاله برخی از روش‌های موجود درون‌یابی قوانین فازی که تحت عنوان FRI[1] مطرح شده‌اند [2-7] را با روش پیشنهادی مقایسه خواهیم کرد. FRI به مجموعه‌ای از روش‌ها اطلاق می‌شود که برای درون‌یابی فازی قوانین استفاده شده و نتایج مختلفی را به دست می‌دهند. یکی از مشکلات استفاده از این روش‌ها این است که معیاری برای انتخاب یکی از آن‌ها وجود ندارد. همچنین این روش‌ها به یافتن قانون جاافتاده نمی‌پردازند. بلکه بخش "مقدم" قانون جاافتاده را از کاربر دریافت می‌کنند و سپس بخش "نتیجه" آن را پیش‌بینی می‌کنند [2-10]. اما در روش پیشنهادی این مقاله، هر دو بخش‌های "مقدم" و "نتیجه" مربوط به قانون جاافتاده را به عنوان مجهول در نظر گرفته و اقدام به استخراج آن می‌نماییم. همچنین روش معرفی‌شده به دلیل مدل‌سازی با درون‌یابی کمترین مربعات خطا می‌تواند معیاری برای انتخاب نتیجه از بین روش‌های مجموعه FRI تلقی شود. برخی از روش‌های FRI عبارت‌اند از KH، CRF، VKK، IMUL، KH Stabilized، MACI، FIVE، LESFRI و FRISUV [2-10]. برای برخی از این روش‌ها سعی شده است که به نوعی بهینه‌سازی صورت گیرد [11,12]. برخی از کاربردها نیز در سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است [13-15]. برخی از سیستم‌ها دارای قوانین کامل می‌باشند که از این جهت مورد مناسبی برای ارزیابی روش‌های استخراج قانون می‌باشند [16]. استفاده از روش پیشنهادی به عنوان یک معیار برای انتخاب و ارزیابی سایر روش‌ها و نیز کاهش مراحل استنتاج از جمله نوآوری‌ها است.

منظور ما از داده‌های مطمئن این است که در یک سیستم خبره فازی که داده‌های ورودی و خروجی در آن بازه‌ای پیوسته از مجموعه اعداد حقیقی هستند، بتوان گفت به ازای هر ورودی حداقل یک خروجی از سیستم تولید شود. در این صورت قوانین ساخته‌شده بر مبنای این داده‌های ورودی و خروجی نیز به صورت کامل بتوانند آن‌ها را پوشش دهند. یعنی اینکه به ازای هر داده ورودی حداقل یک قانون وجود داشته باشد که خروجی مربوطه را تولید کند. در این مقاله نیز ما به همین منظور از سیستم خبره‌ای سخن می‌گوییم که به علت فقدان یا کمبود قانون، حداقل یک داده ورودی وجود دارد که به ازای آن خروجی توسط سیستم تولید نمی‌شود و از این رو ما با رویکرد درون‌یابی قانون اقدام به استخراج قانون جاافتاده می‌نماییم تا با ورود هر داده ورودی از داده‌های پیوسته، سیستم خبره با استنتاج قانون جاافتاده، بتواند خروجی مناسبی را تولید نماید. ویژگی داده‌های ورودی و

[1] Fuzzy Rules Interpolation

خروجی پیوسته بودن آن‌هاست و از نظر محدودیت هر بازه پیوسته‌ای از اعداد حقیقی به عنوان ورودی سیستم قابل‌قبول است و خروجی مربوطه نیز یک عدد حقیقی در بازه پیوسته‌ای از اعداد حقیقی خواهد بود.

قوانین و انواع سیستم‌های خبره فازی

از لحاظ وضعیت قوانین، دو نوع سیستم خبره فازی داریم. سیستم خبره فازی مطمئن که در آن قوانین از لحاظ تعداد و عملکرد کافی می‌باشند. اما در یک سیستم نامطمئن، یا قوانین زائد موجود است که یکی از معایب آن افزایش حجم محاسبات است و یا دارای قوانین جاافتاده است. هدف ما از این پژوهش بررسی کمبود قانون و استخراج قانون جاافتاده است. کمبود قانون می‌تواند به هر علتی از قبیل دسترسی نداشتن به شخص خبره، کم بودن اطلاعات فرد خبره و مانند آن باشد. در این حالت، برخی از داده‌های ورودی هنگام استنتاج پوشش داده نمی‌شوند و خروجی سیستم برای آن‌ها تولید نخواهد شد. لذا ما با رویکرد درون‌یابی قوانین فازی به استخراج قانون جاافتاده می‌پردازیم. در این زمینه، رویکردهایی تحت عنوان درون‌یابی قوانین فازی[1] (FRI) مورد بحث و بررسی است.

در فصل ۲ ادبیات پژوهش، در فصل ۳ پیشنهاد روش استخراج قانون و در فصل ۴ به منظور ارائه راه حل پیشنهادی به پیاده‌سازی و اجرای یک سناریوی دنیای واقعی خواهیم پرداخت و با استفاده از روش معرفی‌شده به ارزیابی نتیجه می‌پردازیم. تشخیص وجود یا عدم وجود قانون در سیستم و استخراج قانون جاافتاده از جمله مطالبی است که مورد نظر قرار گرفته است و در فصل ۵ به بحث و نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۱ـ۲ـ اهمیت انجام پژوهش

اهمیت کاربرد سیستم‌های خبره از جمله سیستم‌های خبره فازی به جهت هوشمند سازی سیستم حائز اهمیت است. سیستم‌هایی که مبتنی بر قوانین و دانش ذخیره‌شده خود، می‌توانند در انواع کاربردها مورد بهره‌برداری قرار گیرند. این‌گونه سیستم‌ها قابل توسعه و انعطاف می‌باشند و انسان می‌تواند بر حسب نیاز خود پایگاه دانش سیستم را توسعه دهد. لذا نقاط ضعف این سیستم‌ها می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد. زیرا وجود هرگونه نقطه‌ضعفی در قوانین یک سیستم در راستای رسیدن به هدف موجب زیان ما خواهد بود. در این پژوهش کمبود قوانین را مورد بررسی قرار داده‌ایم. یکی از رویکردها برای تشخیص قوانین جاافتاده، درون‌یابی قوانین فازی است. روش‌هایی به این منظور

[1] Fuzzy Rules Interpolation

تحت عنوان FRI صورت گرفته است که هر یک از آن‌ها نتیجه مخصوص خود را ارائه می‌نماید. لذا وقتی ما از یکی از این روش‌ها استفاده می‌کنیم نمی‌دانیم که خروجی مناسب سیستم خبره فازی را کدامیک از آن‌ها ارائه می‌نماید لذا معیار خاصی برای انتخاب آن روش‌ها در دست ما نیست. به عبارتی کاربر یکی از آن‌ها را جهت استخراج قانون جاافتاده انتخاب می‌کند. مورد دیگر اینکه قانون جاافتاده را خود کاربر به عنوان نمونه مشاهدات به این روش‌ها تحویل می‌دهد تا قسمت نتیجه آن قانون توسط روش مورد نظر تولید شود. به عنوان مثال اگر قانون جاافتاده به این شکل متصور باشد:

اگر هوا گرم است آنگاه سرعت کولر را زیاد کن

قسمت مقدمه[1] این قانون که با متغیر زبانی گرم بودن تعریف شده است را به عنوان یک نمونه مشاهده‌شده به روش مربوطه تحویل می‌دهیم. قسمت تالی[2](آنگاه) این قانون یعنی "زیاد کردن سرعت کولر" چیزی است که الگوریتم مربوطه به ما تحویل می‌دهد. ما در این پژوهش، از یکسو علاوه بر توجه به درون‌یابی فازی و بررسی توابع عضویت، ابتدا به بررسی محل قانون جاافتاده می‌پردازیم و پس از استخراج قانون جاافتاده، آن را به شکل دستوری اگر-آنگاه تولید می‌کنیم. و از سوی دیگر مستقیماً بین خود قوانین موجود، درون‌یابی فازی را انجام می‌دهیم. ما نیز با همین انگیزه و کسب دقت بالاتر به این پژوهش می‌پردازیم.

۱ـ۳ـ هدف پژوهش

هدف ما از انجام این پژوهش این است که بتوانیم در یک سیستم خبره فازی نامطمئن از این رو که قانون یا قوانینی جاافتاده است، با استفاده از روش معرفی‌شده به استخراج قوانین جاافتاده بپردازیم و در این رهگذر از روش معرفی‌شده به عنوان یک معیار جهت انتخاب یکی از روش‌های FRI به منظور دستیابی به بالاترین دقت و کاهش مراحل استنتاج استفاده می‌نماییم. به طور خلاصه کشف قوانین جاافتاده، درون‌یابی قوانین با حداکثر دقت، استخراج قانون جاافتاده و استفاده از روش معرفی‌شده به عنوان یک معیار جهت انتخاب دیگر روش‌ها برای استخراج قانون، تعیین چگونگی شکل تابع عضویت قانون استخراج‌شده و کاهش مراحل استنتاج از اهداف اصلی ما در این پژوهش است.

[1] Antecedent
[2] Consequent

فصل دوم

ادبیات پژوهش

فصل ۲ــ ادبیات پژوهش

در این فصل ابتدا به تعریف نظری و عملیاتی مفاهیم و متغیرها می‌پردازیم و به اختصار در مورد روش‌های موجود درون‌یابی فازی توضیح می‌دهیم.

۲ــ۱ــ تعریف نظری و عملیاتی مفاهیم و متغیرها

یک سیستم خبره فازی، با دریافت داده‌های ورودی، بر اساس قوانین موجود و با استفاده از پایگاه دانش خود به استنتاج پرداخته و خروجی را تولید می‌کند که اصطلاحاً به آن سیستم استنتاج فازی[1] (FIS) می‌گویند. بر اساس نوع استنتاجی که توسط موتور استنتاج صورت می‌گیرد از مدل‌هایی همچون ممدانی و ساگنو استفاده می‌شود. قوانین فازی به صورت اگر-آنگاه[2] بیان می‌شود [18]. دامنه داده‌های ورودی و خروجی را می‌توان توسط متغیرهای زبانی در قالب توابع عضویت مدل کرد. تابع عضویت می‌تواند به شکل‌های مختلف از جمله مثلثی، گاوسی و ذوزنقه‌ای باشد [18].

برای ایجاد قوانین یک سیستم خبره فازی، می‌توان از روش‌های ذیل استفاده نمود [۲۶]:

الف: دانش بیان‌شده توسط قوانین که با استفاده از متغیرهای زبانی موجود if –then شکل می‌گیرد و از جمع‌آوری تجربه و دانش انسان‌های مرتبط با سیستم یا بررسی و کنترل یک فرآیند فیزیکی به دست می‌آید.

ب: استفاده از اصول عمومی فیزیک و قواعد مربوط به دینامیک فرآیند تحت مطالعه

ج: استفاده از دسته‌بندی الگوها و آنالیز آماری بعضی داده‌های عددی تا با استفاده از این روش‌ها بتوان در ورودی، خروجی سیستم آن‌ها را اندازه‌گیری کرد.

د: استفاده از معادلات تحلیلی مربوط به فرآیند که بر اساس اصل گسترش (مطرح‌شده توسط زاده) بیان‌شده باشند.

سه مجموعه فازی ورودی، قوانین و مجموعه فازی خروجی مجموعاً مشاهدات و دانش ما را نسبت به سیستمی تشکیل می‌دهند که قرار است به عنوان یک سیستم خبره فازی ساخته شود. داده‌های

[1] Fuzzy Inference System
[2] If-Then

ورودی به صورت قطعی به سیستم وارد شده و پس از عمل استنتاج با استفاده از قوانین یا پایگاه دانش، داده‌های خروجی به صورت مقادیر قطعی[۱] از سیستم دریافت می‌گردند. برای تبدیل مقادیر قطعی به فازی و یا بالعکس، از عملیات فازی سازی[۲] و فازی زدایی[۳] استفاده می‌شود.

شرح سیستم خبره فازی FIS

در سیستم‌های خبره فازی از قوانین فازی[۴] برای استنتاج استفاده می‌شود. به عنوان مثال در مورد رانندگی خودرو می‌دانیم که با توجه به سرعت خودرو، راننده موظف است تا قوانینی را رعایت کند. یک قانون این است : "اگر به پیچ نزدیک می‌شوید، سرعت خود را کم کنید". به معانی زبانی از قبیل کم، متوسط و تند را که برای میزان سرعت بیان می‌کنیم، اصطلاحاً متغیرهای زبانی می‌گوییم. در یک سیستم خبره فازی از همین متغیرهای زبانی برای تعیین تابع عضویت استفاده می‌شود. تابع عضویت برای بیان مقادیر فازی به اشکال مختلف از جمله شکل مثلثی، ذوزنقه و یا گاوسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع عضویت برای بیان میزان فازی بودن یک متغیر به کار می‌رود. در مثال رانندگی خودرو، پارامتر ورودی سرعت است و متغیرهای زبانی برای بیان سرعت خودرو "کم، متوسط و تند" است. بنابراین مثال بیان‌شده نمایانگر یک قانون فازی به شکل اگر-آنگاه است.

تعریف سیستم خبره فازی

یک سیستم خبره فازی با دریافت داده‌های ورودی بر اساس قوانین موجود در پایگاه دانش خود، به استنتاج[۵] پرداخته و خروجی را تولید می‌کند و می تواند چندین ورودی - خروجی داشته باشد.

کاربرد سیستم خبره فازی

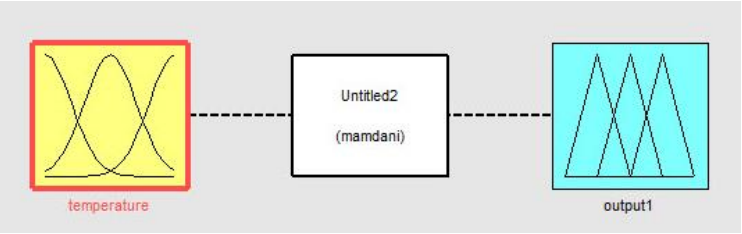
از سیستم‌های خبره فازی در جهات گوناگون استفاده می‌شود. به عنوان مثال سیستم‌های کنترل‌کننده فازی که در آن‌ها یک فرآیند کنترلی صورت می‌گیرد. برای مثال، تنظیم‌کننده سرعت کولر نسبت به دمای اتاق، سیستم خبره فازی کنترل و تهویه هوای اتاق عمل [16] کنترل خودرو یا هواپیمای بی‌سرنشین، ماشین لباس‌شویی خودکار و سایر موارد.

[1] Crisp Values
[2] Fuzzification
[3] Deffuzification
[4] Fuzzy Rules
[5] Inference

ساختار و اجزای یک سیستم خبره فازی

سه مجموعه فازی ورودی، قوانین و خروجی مجموعاً مشاهدات و دانش ما را نسبت به سیستمی تشکیل می‌دهند که قرار است به عنوان یک سیستم خبره فازی ساخته شود. داده‌های ورودی به صورت قطعی به سیستم وارد شده و پس از عمل استنتاج با استفاده از قوانین یا پایگاه دانش، داده‌های خروجی به صورت قطعی از سیستم دریافت می‌گردند. برای تبدیل ورودی‌های قطعی به فازی و یا بالعکس، از عملیات فازی سازی[۱] و فازی زدایی[۲] استفاده می‌شود.

از لحاظ نظری باید با مفاهیم موجود در یک سیستم خبره فازی و کارهایی که قبلاً در این راستا انجام شده است آشنا باشیم. ما می‌توانیم یک سیستم خبره فازی را تحت عنوان FIS[۳] طراحی نماییم. در واقع از این پس منظور ما از FIS همان سیستم خبره فازی است که متناسب نیاز و کاربرد مورد نظرمان طراحی کرده‌ایم. برای آنکه در فصل ۴ بتوانیم مفاهیم بکار رفته را به آسانی درک نماییم در این قسمت مروری بر مفاهیم و کارهای انجام شده خواهیم داشت. مدل استفاده‌شده در این سیستم ممدانی است. موضوع تهویه اتاق عمل [16] را به عنوان یک مثال مطرح می‌نماییم. این مثال، یک سیستم FIS است که جهت کنترل هوای درون اتاق عمل طراحی شده است. این سیستم ورودی‌های ذیل را از سنسورها می‌گیرد و پس از آن موتور استنتاج فازی[۴] بر اساس قوانین تعریف‌شده، خروجی را که به صورت فازی است در اختیار واحد فازی زدایی[۵] قرار می‌دهد و این واحد نتیجه را به صورت یک عدد قطعی به دو موتور تهویه تحویل می‌دهد. شکل ۲-۱ نمای کلی از یک FIS را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱. نمونه‌ای از یک سیستم FIS [16]

[1] Fuzzification
[2] Defuzzification
[3] Fuzzy Inference System
[4] Fuzzy Inference Motor
[5] Defuzzication unit

تعریف متغیرهای ورودی[1]

متغیرهای ورودی مطابق جدول ۲-۱ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲-۱. پارامترهای ورودی سیستم FIS [16]

Temperature	Humidity	Oxygen	Particle	Anesthetic Gas
دما C	رطوبت ٪	اکسیژن ٪	میزان ذرات ریز معلق در هوا PPM (pars per million)	میزان گازهای بی‌هوشی معلق در هوا PPM (pars per million)

تعریف متغیرهای خروجی[2] :

متغیرهای خروجی مطابق جدول ۲-۲ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲-۲. پارامترهای خروجی سیستم FIS [16]

Motor 2	Motor 1
دما C	**رطوبت ٪**

تعریف متغیرهای زبانی[3]

برای اینکه بتوانیم توابع عضویت لازم را برای متغیرهای ورودی و خروجی بسازیم، ابتدا محدوده مجاز برای متغیرهای ورودی و خروجی را مطابق جدول ۲-۳ تعیین می‌نماییم.

[1] Input variables
[2] output variables
[3] Language Variables

جدول ۲-۳. محدوده پارامترهای مجاز برای سیستم [16]

پارامترها	محدوده‌ی مجاز
دما	۱۶ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد
رطوبت	۲۰ تا ۶۰ درصد
اکسیژن	۱۰ تا ۴۵ درصد
ذرات معلق هوا	۱ تا ۲۰۰۰ ppm
سرعت موتور دما-رطوبت	۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ دور در دقیقه
سرعت موتور هوای تازه فیلتر شده	۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ دور در دقیقه

اکنون مطابق جدول ۲-۴ به تعریف متغیرهای زبانی می‌پردازیم.

جدول ۲-۴. لیست متغیرهای زبانی [16]

پارامترها	نوع	تبدیل به زبان فازی
دما	ورودی	Low, Medium, High
رطوبت	ورودی	Low, Medium, High
اکسیژن	ورودی	Low, Medium, High
ذرات معلق هوا	ورودی	Low, Medium, High
گازهای بی‌هوشی هوا	ورودی	Low, Medium, High
سرعت موتور دما-رطوبت	خروجی	Very Low, Low, Medium, High, Very High
سرعت موتورهای تازه فیلتر شده	خروجی	Very Low, Low, Medium, High, Very High

تعریف تابع عضویت

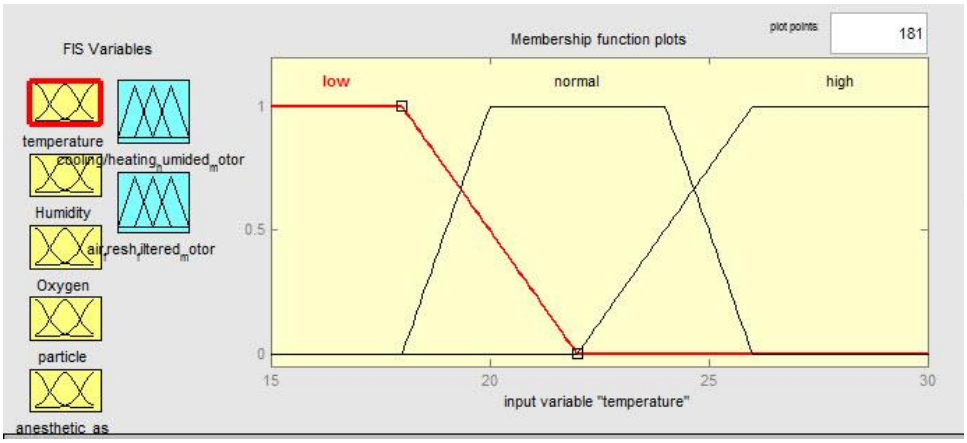
در این قسمت به ازای تک‌تک متغیرهای ورودی و خروجی با استفاده از تعریف متغیرهای زبانی، اقدام به ایجاد تابع عضویت[1](mf) برای کلیه متغیرهای ورودی و خروجی می‌نماییم. برای این منظور همان طور که در مفاهیم دانش فازی آمده است، یک نمونه از تابع عضویت را که به شکل مثلثی است در رابطه (۲-۱) مشاهده می‌نماییم.

[1] Membership function

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{otherwise}, \\ \frac{x-a^L}{a^C-a^L}, & \text{for } a^L < x \leqslant a^C, \\ \frac{a^R-x}{a^R-a^C}, & \text{for } a^C < x \leqslant a^R. \end{cases} \quad (۱-۲)$$

توابع عضویت ورودی [1]

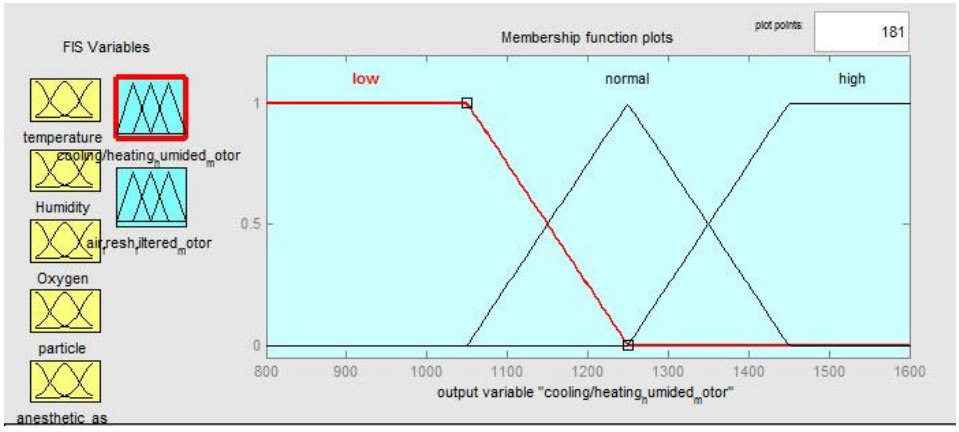
تابع عضویت برای نشان دادن دمای هوای اتاق عمل مطابق شکل ۲-۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۲. تابع عضویت برای پارامتر ورودی [16]

توابع عضویت خروجی [2]

تابع عضویت برای تنظیم کردن دور موتورها مطابق شکل ۲-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۳. تابع عضویت برای پارامتر خروجی [16]

[1] Input Membership Functions
[2] Output Membership Functions

تعریف قانون برای سیستم FIS

سیستم FIS بر اساس اینکه درجه تعلق هر متغیر ورودی چقدر باشد با استفاده از قوانینی که در پایگاه دانش آن تعریف شده است استنتاج لازم را انجام می‌دهد و سرعت موتورهای سیستم را به عنوان خروجی به موتورها تحویل می‌دهد. قوانین را از شخص خبره به این شکل دریافت می‌نماییم :

اگر دما کم است و رطوبت کم است و اکسیژن کم است و ذرات معلق کم است و گاز بی‌هوشی کم است آنگاه سرعت موتور دما-رطوبت را زیاد کن و سرعت موتور هوای تازه را زیاد کن.

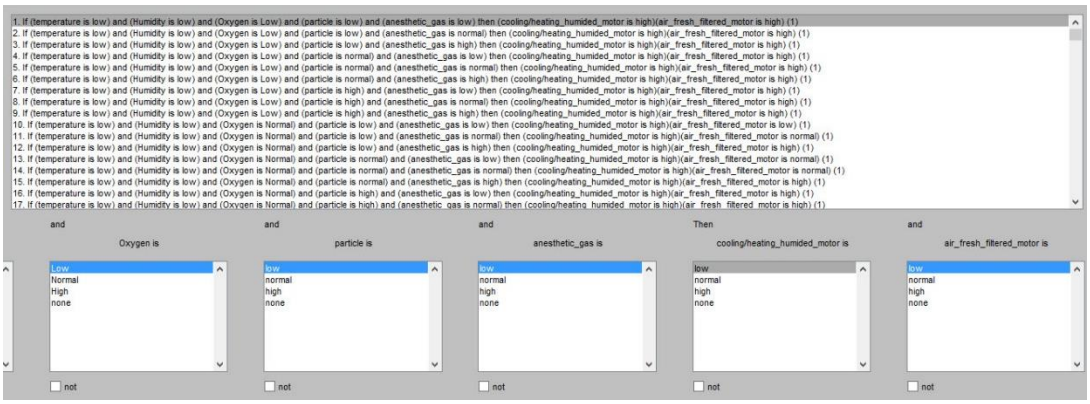
می‌دانیم که استانداردهایی برای اتاق عمل وجود دارد و بر طبق این استانداردها باید دما و رطوبت را در حد معین حفظ کرد. ذرات معلق ریز موجود در هوا و گازهای بی‌هوشی نباید از حد مجاز فراتر رود و همچنین اکسیژن موجود در هوای محیط نباید از یک حد مشخص کمتر باشد. معمولاً این اطلاعات را پزشکان به عنوان شخص خبره به ما می‌دهند و ما آن‌ها به صورت قوانین فازی برای سیستم تعریف می‌کنیم.

نمونه‌ای از قوانین طراحی‌شده برای سیستم FIS اتاق عمل مطابق جدول ۲-۵ است.

جدول ۲-۵. نمونه‌ای از قوانین موجود در پایگاه دانش [16]

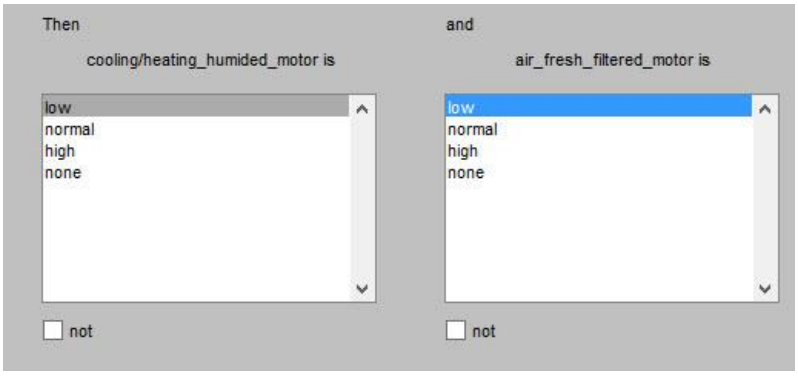
شماره قانون	دما	رطوبت	اکسیژن	ذرات معلق	گاز بی‌هوشی	موتور دما-رطوبت	موتور هوای تازه
۱	کم	کم	کم	کم	کم	زیاد	زیاد
۲	کم	کم	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد
...							
۲۴۲	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد
۲۴۳	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد

لیستی از قوانین دریافت شده از شخص خبره برای سیستم را مطابق شکل ۲-۴ ملاحظه می‌نماییم.



شکل ۲-۴. لیستی از قوانین موجود در سیستم [16]

برای ترکیب متغیرهای ورودی یا خروجی مطابق شکل ۲-۵ می‌توان از عملگرهای And, Or, Not استفاده کرد. این عملگرها برای سیستم‌های چند ورودی و چند خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۲-۵. استفاده از عملگرهای منطقی برای ترکیب متغیرها [16]

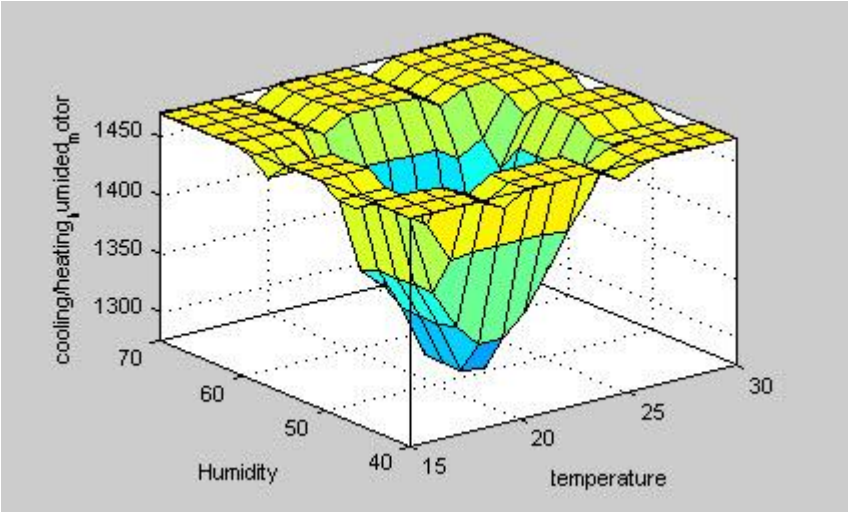
لذا با توجه به عبارت شرطی مورد نیاز برای تعریف یک قانون[1] که از منبع استانداردهای تخصصی مربوط به شرایط اتاق عمل به دست می‌آوریم، کلیه قوانین تعریف شده است تا سیستم بتواند بر اساس آن‌ها استنتاج نموده و خروجی مطلوب را به ما بدهد.

[1] Rule

ارتباط میان پارامترهای ورودی و پارامترهای خروجی

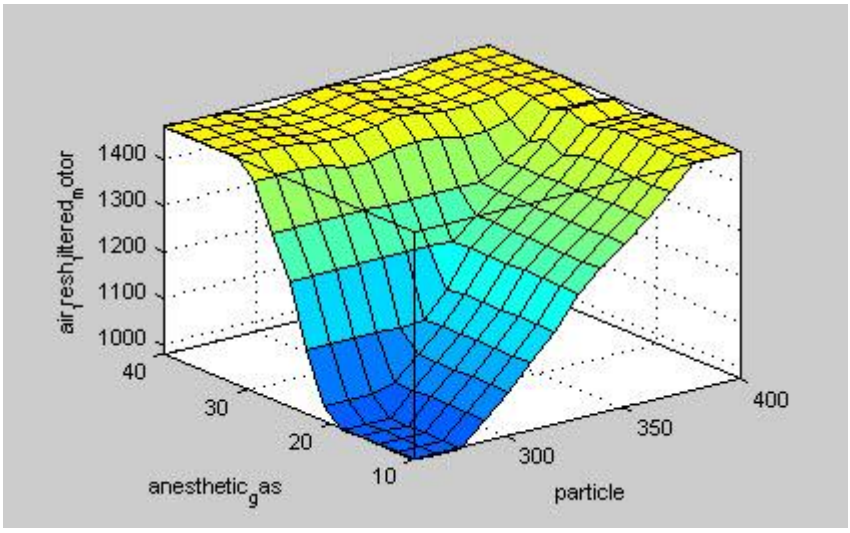
ما در این سیستم، ۵ پارامتر ورودی و ۲ پارامتر خروجی جهت میزان تنظیم دور موتورها در اختیار داریم. همچنین در این سیستم از آنجا که دو موتور خروجی به صورت مستقل از هم کار می‌کنند بنابراین ۴ حالت مختلف را نسبت به یکدیگر خواهند داشت [16].

در شکل ۲-۶شکل ۲-۶. دمای اتاق و رطوبت ورودی، سرعت موتور دما-رطوبت خروجی [16] دمای اتاق و رطوبت به عنوان ورودی و سرعت موتور تنظیم‌کننده دمای اتاق به عنوان خروجی است. همان طور که مشاهده می‌شود در دماهای پایین و دماهای بالا فن‌های موتور با سرعت بیشتری می‌چرخند و همچنین اگر رطوبت در میزان نرمال خود نباشد سبب افزایش سرعت فن موتور دما-رطوبت خواهد شد [16].



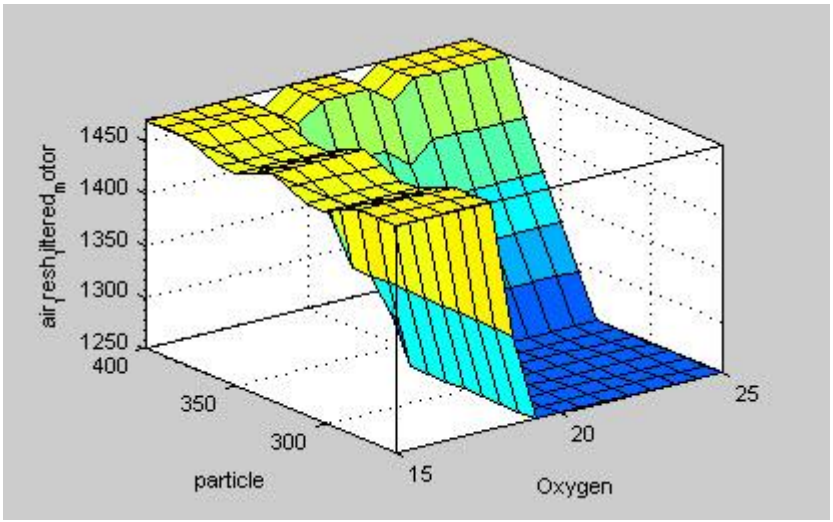
شکل ۲-۶. دمای اتاق و رطوبت ورودی، سرعت موتور دما-رطوبت خروجی [16]

در شکل ۲-۷ میزان ذرات معلق و گاز بی‌هوشی هوا به عنوان ورودی و سرعت موتور هوای تازه به عنوان خروجی است. همان طور که از نمودار می‌توان متوجه شد اگر ذرات معلق هوا یا میزان گازهای بی‌هوشی هوا از حد مجاز خود در اتاق عمل بیشتر شود باعث می‌شود که سرعت موتور هوای تازه بیشتر شود و در نتیجه هوای تازه بیشتری به اتاق عمل وارد شده و از غلظت آن‌ها به تدریج کاسته می‌شود [16].



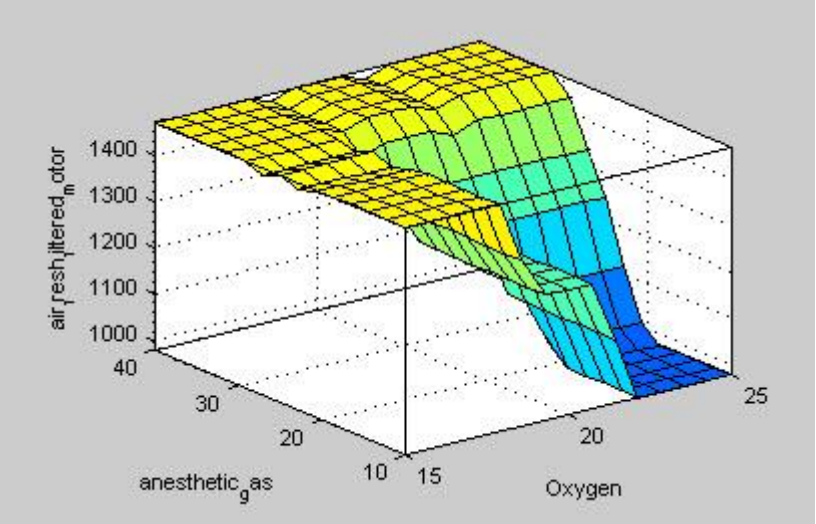
شکل ۲-۷. میزان ذرات معلق و گاز بی‌هوشی ورودی، سرعت موتور هوا خروجی [16]

در شکل ۲-۸ میزان اکسیژن و ذرات معلق موجود در هوا به عنوان ورودی هستند و بر اساس آن سرعت موتور هوا نشان داده شده است. نمودار نشان می‌دهد که هنگامی که اکسیژن هوا کمتر از میزان مجاز نباشد یا مقدار ذرات معلق بیشتر از حد مجاز خود نباشد سرعت موتور در حد کم خواهد بود، در غیر این صورت هر چه از میزان مجاز اکسیژن کمتر شود یا از میزان ذرات معلق هوا بیشتر شود، به تدریج سرعت فن‌های موتور افزایش خواهد یافت [16].



شکل ۲-۸. اکسیژن و ذرات معلق هوا ورودی، سرعت موتور هوا خروجی [16]

در شکل ۲-۹ میزان اکسیژن و گاز بی‌هوشی موجود در هوا به عنوان ورودی و سرعت موتور هوای تازه به عنوان خروجی است . شکل نشان می‌دهد که اگر اکسیژن و گاز بی‌هوشی از مقدار مجاز خود در هوا بیشتر باشند موتور هوا در سرعت بالای خود کار می‌کند، در غیر این صورت موتور در سرعت پایین خود کار خواهد کرد [16].



شکل ۲-۹. اکسیژن و میزان گاز بی‌هوشی ورودی، سرعت موتور هوا خروجی [16]

تعریف فازی سازی [۱] و فازی زدایی [۲]:

زمانی که قصد داریم ورودی‌ها را به سیستم FIS بدهیم می‌بایست توجه کنیم که موتور استنتاج این سیستم به شکل فازی عمل می‌کند زیرا قوانین و کلیه توابع عضویت بر اساس دانش فازی بیان شده‌اند. لذا قبل از تحویل داده‌های ورودی به این بخش، مقادیر ورودی باید به فازی تبدیل گردند که این عمل را فازی سازی می‌گوییم. پس از اینکه سیستم FIS استنتاج خود را انجام داد خروجی را به صورت مقادیر فازی تحویل واحد فازی زدایی می‌دهد [17].

روش‌های فازی زدایی [۳]

از روش‌های گوناگونی می‌توان برای عمل فازی زدایی استفاده کرد. این مسئله مهمی است زیرا سیستم FIS در آخرین بخش کار خود، خروجی را پس از انجام فازی زدایی به ما تحویل می‌دهد. لذا می‌توان به ازای برخی نمونه‌های ورودی و خروجی در داده های تستی، روش مناسب را برای این کار انتخاب نمود. از روش‌هایی چون مرکز ثقل [۴]، مرکز میانگین [۵] و غیره می‌توان استفاده کرد [17].

[1] Fuzzification
[2] Defuzzification
[3] Defuzzification Methods
[4] Center of gravity Defuzzifier
[5] Center Average Defuzzifier

۲ـ۲ـ بررسی پژوهش‌های انجام شده

روش های FRI [1] برای درون‌یابی قوانین فازی

با توجه به اینکه یکی از رویکردها برای تشخیص قوانین جاافتاده درون‌یابی قوانین فازی است، در این بخش به معرفی چند روش از FRI می‌پردازیم. روش‌های مبتنی بر FRI نتیجه مخصوص به خود را ارائه می‌نماید به این معنی که خروجی برخی از آن‌ها با یکدیگر تفاوت دارد. یک جعبه ابزار نیز برای این روش‌ها طراحی شده است [18]. بنابراین وقتی ما از یکی از این روش‌ها استفاده می‌کنیم نمی‌دانیم که خروجی مناسب سیستم خبره فازی را کدامیک از آن‌ها به ما ارائه می‌نماید لذا معیار خاصی برای انتخاب این روش‌ها در دست ما نیست. مورد دیگر اینکه قانون جاافتاده را خود کاربر به عنوان نمونه مشاهدات به این روش‌ها تحویل می‌دهد تا قسمت نتیجه آن قانون توسط روش مورد نظر پیش‌بینی و تولید شود.

به عنوان مثال یک سیستم FIS [2] که در قالب مدل ممدانی[3] طراحی شده را به همراه نمونه‌ای از مشاهدات[4] به یکی از این روش‌ها که KH نام دارد، تحویل می‌دهیم. ما قسمت "مقدمه" یک قانون جاافتاده را به عنوان نمونه مشاهده‌شده به الگوریتم KH می‌دهیم. این الگوریتم خروجی حاصل از قسمت نتیجه استخراج‌شده برای قانون[5] را به ما تحویل می‌دهد.

به بیان ساده‌تر اگر یک قانون جاافتاده داشته باشیم به صورتی که :

If x=A* then y=B*

A* به منزله قسمت "مقدمه" این قانون و B* قسمت تالی این قانون است.

در این روش‌ها فرض بر این است که ما می‌دانیم داده‌های مشاهده‌شده چه هستند. یعنی طبق این مثال، ما از قسمت "مقدمه" قانون جاافتاده مطلع هستیم و فقط خروجی قانون یعنی B* برای ما مجهول است. به این منظور در روش KH از برش آلفا استفاده شده است. از آنجا که برخی روش‌ها مانند این الگوریتم از برش آلفا مختصراً به شرح این الگوریتم می‌پردازیم.

[1] Fuzzy Rules Interpolation
[2] Fuzzy Inference System
[3] Mamdani
[4] Observation
[5] Consequent

روش KH [1]

درون‌یابی α-cut (KH) که توسط Koczy و Hirota تولید شده است. در این روش از نقاط شکست[2] در سطح آلفا (برش آلفا) استفاده گردیده است. در الگوریتم KH پیش‌فرض درجه یا توان محاسبه فاصله نوع Minkowski را معادل عدد ۲ در نظر گرفته است [2].

گام‌های الگوریتم:

۱. یافتن کلیه نقاط توقف نمونه مشاهده‌شده (*A) با بخش توابع عضویت متغیرهای ورودی سیستم FIS
۲. یافتن فاصله میان مقدمه ۴ قانون از نمونه مشاهده‌شده *A در سطح برش آلفای [3] آن‌ها
۳. یافتن همسایگان سمت چپ و راست که در برگیرنده *A باشند با توجه به محاسبه اختلاف فواصل

با توجه به اینکه از گام ۳ مشخص شده است که *A میان دو قانون A1 و A2 قرار گرفته است به محاسبه فاصله در قسمت مقدمه این قوانین می‌پردازد یعنی به محاسبه فاصله میان B1 و B2 به نسبت فاصله میان A1 و A2 می‌پردازد.

با توجه به فاصله‌ها، جایگاه خروجی که همان *B است را مشخص می‌نماید. الگوریتم KH بر اساس معیار فاصله میان نمونه مشاهده‌شده و قوانین سمت چپ و راست آن، پی به جایگاه خروجی می‌برد. در این روش با این استنتاج خروجی قانون مشاهده‌شده یافت می‌گردد.

روش KH stabilized

در این الگوریتم نیز همانند روش KH از نقاط توقف در سطح آلفا (برش آلفا) استفاده شده است [6]. ولی کمی دارای تغییرات است. معیار استفاده‌شده برای درون‌یابی قانون مشاهده‌شده، در این الگوریتم نیز فاصله میان مقدمه قوانین طرفین با مقدمه قانون مشاهده شده است. این الگوریتم پیش‌فرض درجه یا توان محاسبه فاصله نوع Minkowski را معادل عدد ۲ در نظر گرفته است.

[1] Kóczy and Hirota
[2] Breakpoints
[3] α-cut level

روش CRF [1]

یک روش مبتنی بر حفاظت از فازی بودن نسبی (CRF) است. در این روش از پایین‌ترین و بالاترین حد فازی بودن[2] استفاده شده است [3]. این الگوریتم پیش‌فرض درجه یا توان محاسبه فاصله نوع Minkowski را معادل عدد ۲ در نظر گرفته است.

روش IMUL [3]

این روش عبارت است از بهبود روش درون‌یابی فازی برای فضاهای ورودی چند بعدی (IMUL). این الگوریتم پیش‌فرض درجه یا توان محاسبه فاصله نوع Minkowski را معادل عدد ۲ در نظر گرفته است [5].

روش MACI [4]

این روش تغییر یافته‌ی درون‌یابی α-cut (MACI) است که توسط Tikk و Baranyi تولید شده است. این الگوریتم پیش‌فرض درجه یا توان محاسبه فاصله نوع Minkowski را معادل عدد ۲ در نظر گرفته است [7].

روش VKK [5]

در این روش از نقاط شکست در سطح آلفا (برش آلفا) استفاده شده است [4]. این الگوریتم پیش‌فرض درجه یا توان محاسبه فاصله نوع Minkowski را معادل عدد ۲ در نظر گرفته است.

شرحی بر درون‌یابی قوانین فازی و پژوهش‌های انجام‌شده FRI

روش‌های مبتنی بر FRI که لیست گروهی از آن‌ها را در قسمت قبل ذکر کرده‌ایم، ابتدا با دریافت ورودی مشاهده‌شده و پس از انجام مراحل درون‌یابی خروجی قسمت تالی قانون مربوطه را ارائه می‌کنند.

---

[1] Fuzzy rule interpolation by the conservation of relative fuzziness

[2] Fuzziness

[3] Improved MULtidimensional α -cut based fuzzy interpolation

[4] Modifed α -Cut based Interpolation

[5] Vass, Kalmár and Kóczy

مانند اینکه بگوییم:

If x is A* then y is B*

در استنتاج ذیل با توجه به مشاهده[1] ورودی *A، خروجی *B به عنوان بخش تالی قانون درون‌یابی شده توسط یکی از روش‌های FRI ارائه می‌شود:

Rule 1 : X1 is A1 Then Y is B1

Rule 2 : X1 is A2 Then Y is B2

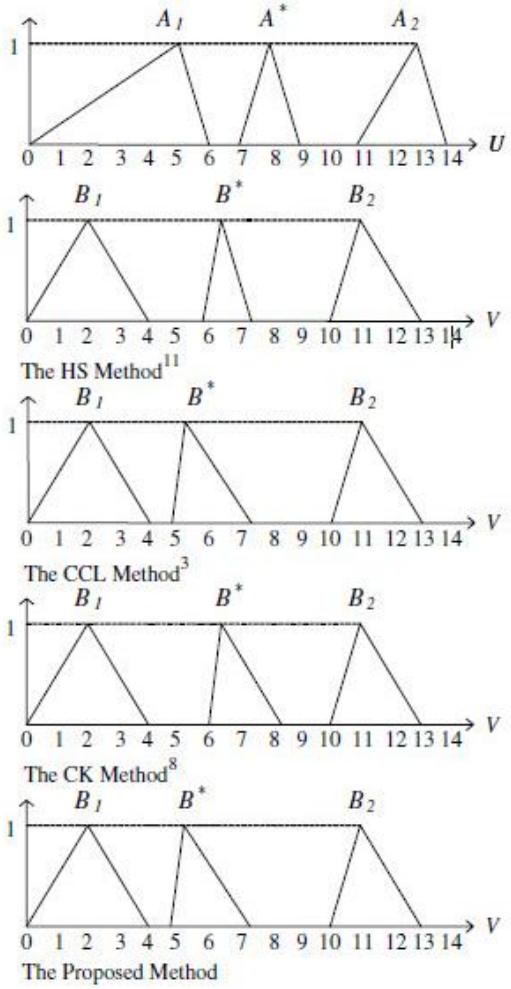
Observation : X1 is A*

Conclusion : Y is B*

به طور کلی برخی از روش‌های مذکور از معیار وزن[2] به منظور بهینه‌سازی استفاده می‌کنند. همان طور که در شکل ۲-۱۰مشاهده می‌گردد، نویسنده به معرفی روش بکار رفته و نهایتاً مقایسه با نتیجه روش‌های دیگر پرداخته است [12]. با توجه به استفاده از مراحلی که در آن فواصل و وزن مرکب نسبت به هر یک از نزدیک‌ترین قانون نسبت به ورودی که به عنوان ورودی مشاهده‌شده از کاربر دریافت می‌کند و در اینجا منظور *A است، خروجی متناظر آن را به عنوان *B ارائه می‌کند. نویسنده مقاله با توجه به شکل ۲-۱۰ بیان می‌دارد با توجه به اینکه فواصل *A نسبت به A1 نزدیک‌تر است، *B پیش‌بینی‌شده نیز نسبت به سایر روش‌های ذکرشده، به B1 نزدیک‌تر است؛ در نتیجه از دقت بالاتری برخوردار است.

[1] Observation

[2] Weight



شکل ۲-۱۰. نمایش خروجی یکی از روش‌های بهینه‌سازی شده موجود [12]

پیش‌بینی دما بر اساس خوشه‌بندی فازی و تکنیک‌های درون‌یابی فازی [19]، مفهوم کلی برای درون‌یابی قانون فازی [20]، رویکرد داده کاوی قانون فازی ـ ژنتیک و ارزیابی تکنیک‌های انتخاب ویژگی برای تشخیص نفوذ ناهنجاری [21]، روش سریع برای تولید خودکار قوانین فازی توسط شبکه‌های عصبی ـ فازی پویای تعمیم‌یافته [22]، امتیازدهی اعتبار مشتری بانک با استفاده از سیستم خبره فازی [23]، پیشگویی مقادیر مفقودشده با استفاده از بهینه‌سازی گروه ذرات مشارکتی (CPSO) [۲۴] و استخراج خودکار قوانین فازی قابل توصیف برای دسته‌بندی و مدل‌سازی [۲۵] از جمله عناوینی هستند که به نحوی در رابطه با کاربرد سیستم‌های خبره فازی با استفاده از مفاهیم مربوط به درون‌یابی قوانین فازی مطالبی را ارائه کرده‌اند.

فصل سوم

پیشنهاد روش استخراج قانون

فصل ۳ــ پیشنهاد روش استخراج قانون

پیشنهاد روش استخراج قانون

در این پژوهش ما کمبود قوانین در یک سیستم FIS را مورد بررسی قرار می‌دهیم. مسئله‌ای که با آن روبرو هستیم تشخیص مقدمه قانون جا افتاده و استخراج نتیجه آن است. این مسئله را با استفاده از درون‌یابی با روش محاسبه کمترین مربعات خطا پیاده‌سازی می‌کنیم. برای طرح مسئله و شرح روش پیشنهادی از یک FIS نمونه استفاده شده است. در این FIS یک هواپیمای جت توسط یک موشک ردیابی می‌شود. ورودی سیستم زاویه میان جهت حرکت موشک و جهت حرکت هواپیما بوده و خروجی آن میزان تغییر زاویه خواهد بود. مسئله مفروض تنها یک ورودی و یک خروجی دارد. سیستم FISی جت/موشک را با توابع عضویت مطابق شکل ۳-۱ و شکل ۳-۲ طراحی کرده‌ایم. زاویه ورودی همان زاویه میان جت و موشک است. متغیرهای زبانی مطابق با جدول ۳-۱ تعریف شده‌اند. فرض می‌گیریم که شخص خبره تعداد ۴ قانون فازی را در این سیستم تعبیه کرده است. بنابراین مشاهدات ما نسبت به دانش فازی موجود در این سیستم عبارت است از ۴ قانون موجود در پایگاه دانش آن. این قوانین به صورت اگر-آنگاه عبارت‌اند از:

if angle is LN then system_output is LN
if angle is ZO then system_output is ZO
if angle is SP then system_output is SP
if angle is LP then system_output is LP

زاویه اولیه میان جت و موشک حدود ۸۰ درجه است. اگر با این تعداد از قوانین سیستم را اجرا نماییم موشک با طی ۱۵۱ حرکت به جت برخورد می‌کند. در ادامه خواهیم دید که درج قانون جدید موجب کاهش قابل توجه مراحل استنتاج به ۳۵ مرحله خواهد شد. نتیجه حاصل لزوم استخراج قانون جاافتاده در قوانین موجود در پایگاه دانش یک FIS را برای ما الزامی می‌نماید. در این FIS استنتاج فازی را بر اساس مدل ممدانی در نظر گرفته و از روش مرکز ثقل برای فازی زدایی استفاده نموده‌ایم. همان طور که قبلاً ذکر شد برای انتخاب قانون مناسب ابتدا قوانین را به صورت نقاط فازی درآورده و سپس با استفاده از درون‌یابی فضای مسئله را مدل می‌کنیم.

روش‌های مختلفی برای انجام درون‌یابی فازی قوانین موجود است [۲۶] :

۱. درون‌یابی فازی با استفاده از روش کمترین مربعات خطا

۲. درون‌یابی فازی با استفاده از روش آنتروپی

۳. تقریب تابع خطی

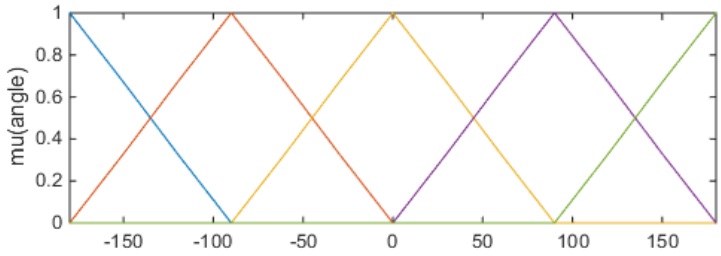
۴. تقریب تابع توانی

۵. تقریب تابع نمایی

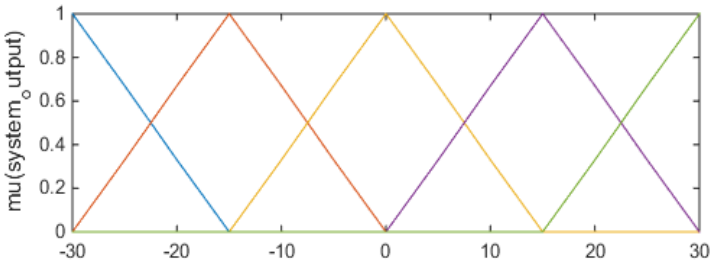
رویکرد ما برای درون‌یابی قوانین فازی استفاده از روش ۱ است. برای انجام درون‌یابی، یکایک قوانین را به صورت نقاط فازی بیان می‌کنیم و سپس با استفاده از روش ۱ به درون‌یابی آن قوانین می‌پردازیم. پس از درون‌یابی این نقاط به صورت خطی، اقدام به استخراج قانون جاافتاده خواهیم نمود. در روش‌های ۲ الی ۵ به علت سنگین بودن محاسبات جهت بالا بردن سرعت اجرا عملاً تبدیل نقاط فازی به نقاط قطعی پیشنهاد شده است و می‌دانیم که این کار موجب حذف یکسری اطلاعات فازی می‌شود [۲۶]. اما با توجه به اینکه برای اجرای روش اول می‌بایست به حل دستگاه معادلات با استفاده از دیفرانسیل فازی بپردازیم و با انجام مشتق‌گیری جزئی مقدار خطا را به حداقل برسانیم صرفاً در این مقاله به جای کار بر روی نقاط فازی آن‌ها را به نقاط قطعی تبدیل می‌کنیم تا بدین وسیله بتوانیم روش پیشنهادی را آسان تر اجرا نماییم.

جدول ۳-۱. تعریف متغیرهای زبانی برای توابع عضویت

متغیرهای زبانی				
LN	**SN**	**ZO**	**SP**	**LP**
منفی بزرگ (Large negative)	منفی کوچک (small negative)	صفر (zero-no change on angle)	مثبت کوچک (small positive)	مثبت بزرگ (Large positive)

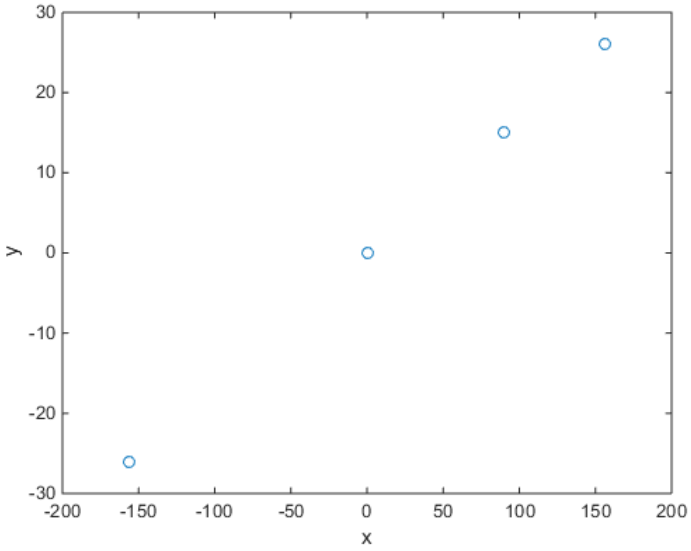


شکل ۳-۱. توابع عضویت برای پارامتر ورودی (زاویه جت و موشک)



شکل ۳-۲. توابع عضویت برای پارامتر خروجی (زاویه تنظیم‌شده)

قوانین را به صورت نقاط قطعی در صفحه دو بعدی x-y مطابق شکل ۳-۳ ملاحظه می‌نماییم.



شکل ۳-۳. نمایش ۴ قانون بر روی صفحه دو بعدی x-y

۳ـ۱ـ درون‌یابی فازی قوانین با استفاده از کمترین مربعات خطا

پس از اینکه یکایک قوانین را به صورت نقاط فازی بیان کردیم با استفاده از "محاسبه کمترین مربعات خطا" به درون‌یابی آن قوانین می‌پردازیم. به این منظور می‌بایست محل قانون جاافتاده در سیستم را تشخیص دهیم.

تشخیص محل قانون جاافتاده ـ تعریف نقطه یا نقاط بحرانی

نقطه بحرانی ورودی از دامنه ورودی‌های سیستم (زاویه میان جت و موشک) است که به ازای آن سیستم فاقد مقدار خروجی است زیرا این مقدار یا مقادیر بحرانی در واقع توسط قانون یا قوانین مرتبطشان، پوشش داده نشده‌اند. لذا این نقطه، نقطه مهمی برای تعیین جایگاه قانون مورد نظر جهت استخراج برای ما دارد. در پروژه جت/موشک، فضای جستجوی ما برای یافتن نقاطی که به ازای آن‌ها قانونی جاافتاده داریم را به این صورت بیان می‌کنیم:

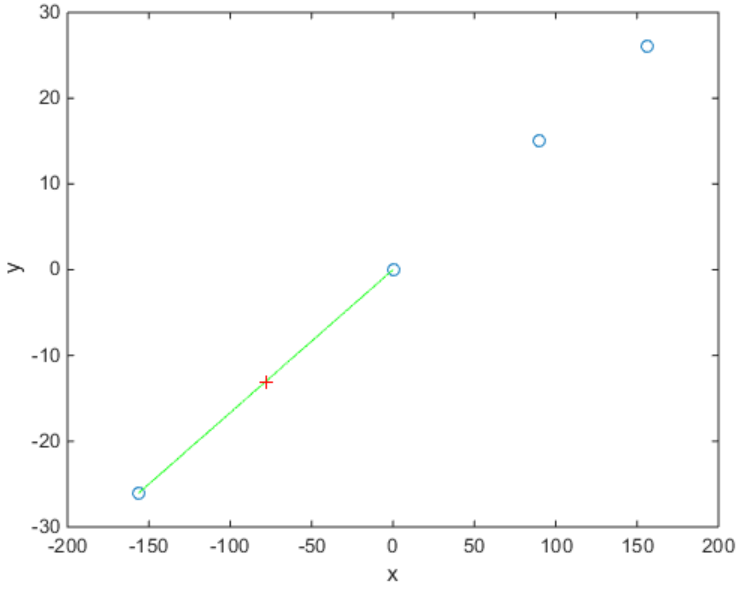
دامنه ورودی که به ازای آن‌ها خروجی داریم - کل دامنه ورودی = دامنه ورودی نقاطی که به ازای آن‌ها خروجی نداریم

زاویه ورودی ۹۰- یک نقطه بحرانی است. در فصل ۴ به تفصیل خواهیم دید به ازای آن قانونی که فعال شود وجود ندارد:

If x= -90 then ?

محاسبه فاصله بین قانون‌های مجاور به صورت دو به دو

در کل قوانین مجاور هم مطابق شکل ۳-۴ بیشینه فاصله میان دو قانون اول و دوم وجود دارد. همان طور که قبلاً ملاحظه کردیم، عدد ۹۰- نیز در این بازه موجود است حال آنکه بررسی دامنه ورودی‌ها نشان می‌دهد که در دو بخش توابع عضویت ورودی و توابع عضویت خروجی، میان سایر قوانین همپوشانی وجود دارد و با اشتراک میان آن‌ها کلیه ورودی‌ها پوشش داده شده است. وسط بازه فاصله بیشینه‌ای را که محاسبه کرده‌ایم مطابق شکل ۳-۴ علامت‌گذاری کرده‌ایم.



شکل ۳-۴. محاسبه بیشینه فاصله میان قوانین با علامت‌گذاری وسط آن

ما با استفاده از برش آلفا و معیار فاصله همان طور که در فصل ۲ برای الگوریتم KH توضیحاتی داده شد می‌توانیم شکل تابع عضویت برای قسمت مقدمه قانون جاافتاده R* را تعیین نماییم و یا اینکه این مسئله را به انتخاب کاربر واگذار نماییم.

درون‌یابی قوانین با استفاده از روش کمترین مربعات خطا

همان طور که قبلاً گفته شد هر نقطه قطعی شده را به عنوان یک قانون استنتاج کرده‌ایم. در این قسمت با توجه به فرمول کمترین مربعات خطا و انجام عمل مشتق‌گیری و رسیدن به حالت کمینه E فازی، به دستگاه معادله دو معلوم و دو مجهول می‌رسیم. توجه می‌کنیم که در این لحظه با مقدار قطعی نقاط فازی ورودی و خروجی خود کار داریم. زیرا محاسبات به شکل فازی ما را بر آن می‌دارد که درجه عضویت هر یک از نقاط فازی را نیز در نظر بگیریم که محاسبه را طولانی می‌کند.

$$dist^2{}_{A_i,y=f(x)} = \left\{\left(d,\mu_{d_y}\right) \middle| d = f(x_A) - y_A, \mu_{d_y} = \sup_{z=d_y} \mu_{\tilde{A}}(x_A,y_A)\right\} \qquad (۱-۳)$$

$$\tilde{E} = \left[\frac{1}{N}\sum_i dist^2{}_{A_{i,y=f(x)}}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۲-۳)$$

a =0.1667 , b = 1.0572e-15 (۳-۳)

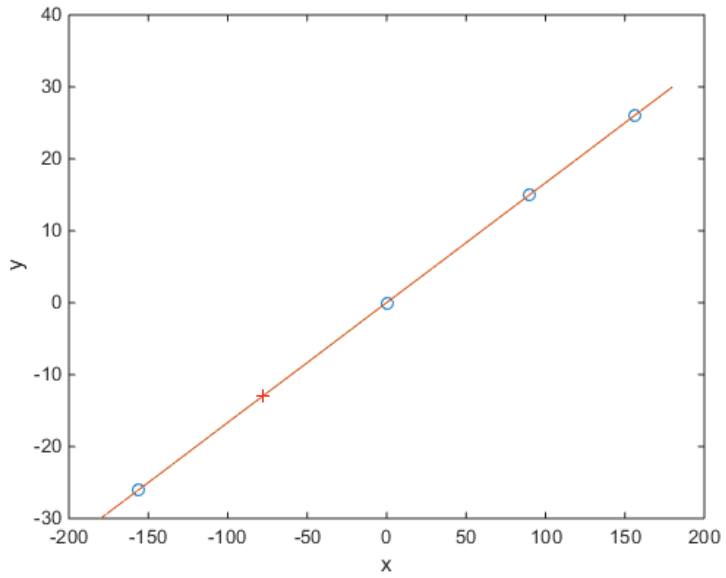
y=a*x+b (۴-۳)

y=0.1667 * x (۵-۳)

فاصله هر یک از نقاط از خط d (خط درون‌یابی) را طبق رابطه (۳-۱) محاسبه می‌نماییم. سپس طبق رابطه (۳-۲) مقدار خطا را کمینه می‌نماییم. برای کمینه کردن تابع خطا، می‌بایست از مشتق جزئی بهره بگیریم. به این منظور از رابطه (۳-۲) نسبت به a و b مشتق می‌گیریم.

نتیجه نهایی منجر به حل دستگاه معادله چند مجهول و چند معلوم می‌شود که با حل آن طبق رابطه (۳-۳) مقادیر a و b به دست می‌آید و با قرار دادن این مقادیر در رابطه (۳-۴) با صرف‌نظر از مقدار b که عددی نزدیک به صفر است به رابطه (۳-۵) می‌رسیم.

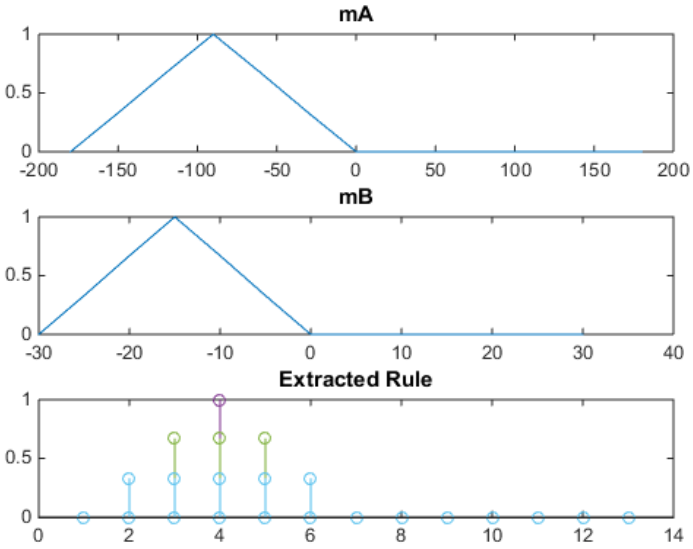
اکنون می‌توانیم خط درون‌یابی را ترسیم کنیم به نحوی که ۴ قانون ما را پوشش دهد. هر قانون سعی می‌کند که خط را به سمت خود بکشد. خط درون‌یابی قوانین مطابق شکل ۳-۵ نمایش داده شده است.



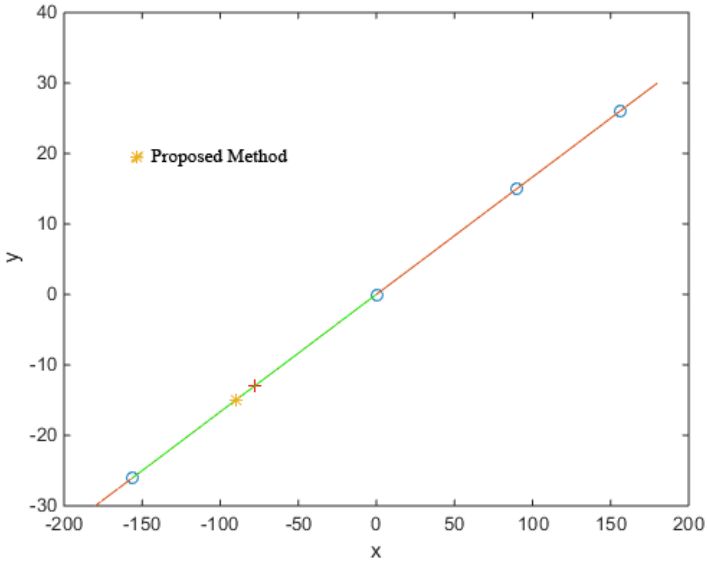
شکل ۳-۵. خط درون‌یابی میان ۴ قانون

۳ـ۲ـ استخراج قانون

قانون جاافتاده [1] با استفاده از "مقدمه" آن و انجام درون‌یابی مطابق شکل ۳-۶ شامل مقادیر ورودی (mA)، مقادیر خروجی (mB) و ماتریس فازی قسمت "نتیجه" ، استخراج‌شده [2] است.



شکل ۳-۶. شکل فازی قانون استخراج‌شده



شکل ۳-۷. نمایش خروجی روش معرفی‌شده

[1] Missed Rule
[2] Extracted Rule

فصل ۴

پیاده‌سازی و ارزیابی روش معرفی‌شده برای سناریوی دنیای واقعی

فصل ۴ـ پیاده‌سازی و ارزیابی روش معرفی‌شده برای سناریوی دنیای واقعی

۴ـ۱ـروش اجرای پژوهش

برای اجرای پژوهش، ما پروژه را به صورت الگوریتمی طراحی کرده و با استفاده از نرم‌افزار متلب[1] به برنامه‌سازی آن پرداخته‌ایم. با استفاده از شکل‌ها سعی کرده‌ایم که قدم به قدم پیش برویم و خروجی را ملاحظه بنماییم و بتوانیم با روشی آسان، به ارزیابی کار نهایی بپردازیم.

امکانات و محدودیت‌های پژوهش

به لحاظ حجم وسیع محاسبات ما در این فصل، یک سناریوی واقعی را با دارا بودن یک ورودی و یک خروجی، در نظر گرفته‌ایم. از این رو می‌توانیم هنگام پلات گرفتن و نمایش محتوا بر روی صفحه دو بعدی x-y، کار را نمایش دهیم و برای سیستم تهویه اتاق عمل که ۵ ورودی و دو خروجی داشت جمعاً با یک کار ۷ بعدی مواجه می‌شدیم. لذا این مثال با دارا بودن یک بعد برای ورودی و یک بعد برای خروجی، کلاً دو بعد خواهد داشت و البته نتایج و کار حاصل قابل تعمیم برای مثال‌هایی که ابعاد بیش از دو بعدی را دارند خواهد بود.

توابع عضویت ورودی و خروجی در آن سیستم را به شکل مثلثی[2] به طور مشابه در نظر گرفته‌ایم. البته طبیعتاً مقادیر مربوطه تفاوت دارند. از طرفی دیگر، به علت حجم وسیع محاسبات که در حالت فازی دامن‌گیر ما می‌شد، قوانین فازی را به صورت نقاط قطعی[3] درآورده‌ایم تا معادلات دیفرانسیلی که می‌بایست هنگام درون‌یابی بر روی آن‌ها انجام دهیم را بتوانیم آسان‌تر حل کنیم و از درگیری در محاسبات بپرهیزیم. این تبدیل مشکلی برای حصول نتیجه به وجود نیاورده است. بهر حال محدودیت‌های گفته‌شده زمان انجام پروژه مطرح بوده است. روال کار سیستم ما به گونه‌ای است که در هر لحظه ورودی به سیستم داده شده و خروجی محاسبه می‌شود. داده‌های ورودی مقادیری از اعداد حقیقی هستند که به صورت عددی قطعی (نه به صورت فازی) به سیستم وارد و خروجی نیز به صورت عددی قطعی از سیستم خارج می‌گردد.

[1] Matlab
[2] Triangular
[3] Crisp

از لحاظ امکانات با توجه به اینکه به نرم‌افزار متلب دسترسی داریم توانسته‌ایم به برنامه‌نویسی کامل و ویرایش و رفع اشکال[1] آن بپردازیم.

شبیه‌سازی ردیابی هواپیمای جت توسط موشک خبره

فرمال سازی سناریو

ما یک سناریوی دنیای واقعی[2] را به عنوان مثالی از سیستم‌های خبره در حوزه فازی برای تشریح ذکر می‌کنیم. در این مثال که به لحاظ حفظ سادگی و قابلیت آموزشی و بهره وری از مطالب، مورد خوبی برای تشریح هدف از این پژوهش به حساب می‌آید، هواپیمای جتی [3] را در نظر می‌گیریم که در فضای دوبعدی توسط موشک رهیاب مورد ردیابی و هدف قرار می‌گیرد.

از این پس به جای به کار بردن اصطلاح هواپیمای جت و موشک رهیاب به ترتیب از اصطلاح "جت" و "موشک" [4] استفاده می نماییم. جنگنده را هوشمند در نظر نگرفته‌ایم و قصد داریم در یک خط راست و مستقیم به مسیر خود ادامه دهد. در ابتدا موقعیت جنگنده نسبت به موشک را متفاوت در نظر گرفته‌ایم. طبق پیش‌فرض سرعت موشک نسبت به جنگنده معادل ۱.۲ است. حرکت موشک کاملاً فازی صورت می‌گیرد. یعنی زاویه حرکت موشک توسط سیستم FIS تنظیم می‌گردد.

مطابق جدول ۳-۱ و شکل ۳-۱ و شکل ۳-۲ به تعریف توابع عضویت برای این FIS می‌پردازیم.

تعریف قوانین فازی[5] :

در این بخش به معرفی قانون‌های سیستم می‌پردازیم. angle متغیر ورودی برای سیستم است که زاویه میان جت و موشک را از روی مختصات مکانشان بازیابی می‌کند.

if angle is LN then system_output is LN
if angle is ZO then system_output is ZO
if angle is SP then system_output is SP
if angle is LP then system_output is LP

(support angle= -180 to +180 , support output= -30 to +30)

[1] Debugging
[2] Real World Senario
[3] Jet
[4] Rocket
[5] Fuzzy Rules

منظور ما از ساپورت[1] همان دامنه داده های ورودی یا خروجی است. مقدار ساپورت یعنی مقادیری از ورودی یا خروجی که درجه عضویت آن‌ها بزرگ‌تر از صفر باشد. منظور از support_angle مقادیر ساپورت برای پارامتر ورودی است که زاویه میان جت و موشک را نشان می‌دهد. منظور از support_output مقادیر ساپورت روی خروجی سیستم است که زاویه تنظیم شده برای موشک نسبت به جت است تا موشک با استفاده از این زاویه بتواند به جت برسد. این زاویه، خروجی مورد انتظار[2] ما از سیستم است.

برای ارائه راه حل مسئله کمبود قوانین، ابتدا قوانین سیستم جت/موشک را با استفاده از استنتاج قانون، فرمال سازی می‌نماییم. به این منظور شکل کلی یک قانون را در نظر می‌گیریم :

If $x=A_i$ then $y=B_j$

A_i همان بخش‌های مربوط به توابع عضویت در ورودی هستند

B_j همان بخش‌های مربوط به توابع عضویت در خروجی هستند

x متغیر ورودی

y متغیر خروجی

به عنوان یک مثال:

قانون فوق می‌گوید اگر متغیر ورودی، منفی بزرگ است آنگاه خروجی، منفی بزرگ است.

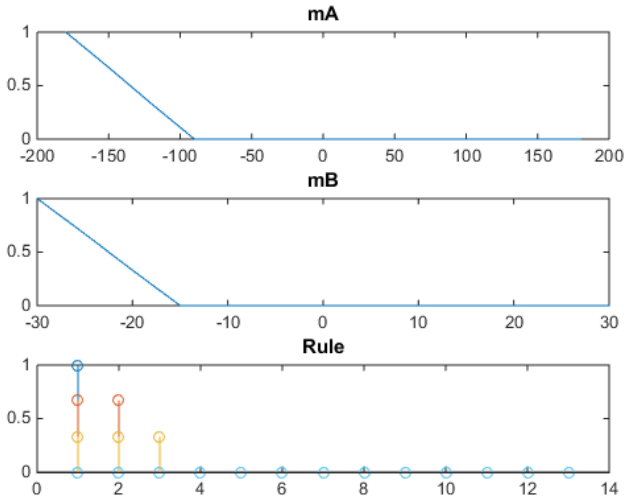
برای ساختن ماتریس یک قانون، ما از کارتزین یا همان حاصل‌ضرب دکارتی استفاده کرده‌ایم به این شکل که مقدمه یک قانون را در مقادیر خروجی آن که همان تالی قانون است به صورت کارتزین در می‌آوریم و از تابع min جهت محاسبه مینیمم مقدار عضویت استفاده می‌کنیم.

$$\boldsymbol{A \times B \mid x \in A,\ y \in B,\ \mu(A \times B) = min(A, B)} \qquad (۱-۴)$$

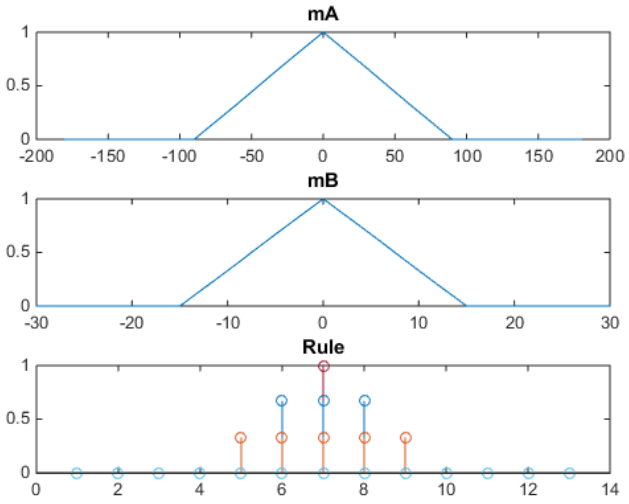
یک قانون را به صورت حاصل‌ضرب دکارتی داده‌های ورودی و خروجی مطابق رابطه (۴-۱) [۲۶] بیان می‌کنیم. سپس هر قانون را با استفاده از رابطه (۴-۱) به صورت ماتریس می‌نویسیم. از این پس

[1] Support
[2] Desired Output

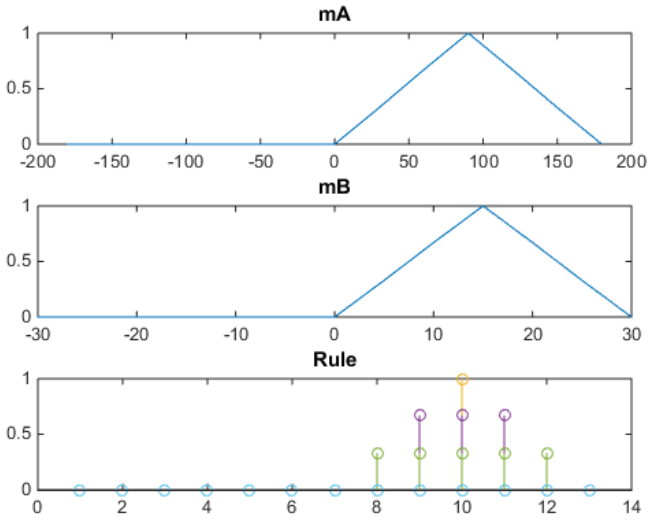
به هر ماتریس به دست آمده "ماتریس قانون" می‌گوییم. ماتریس قوانین تولیدشده در شکل ۴-۱ الی شکل ۴-۴ نمایش داده شده است.



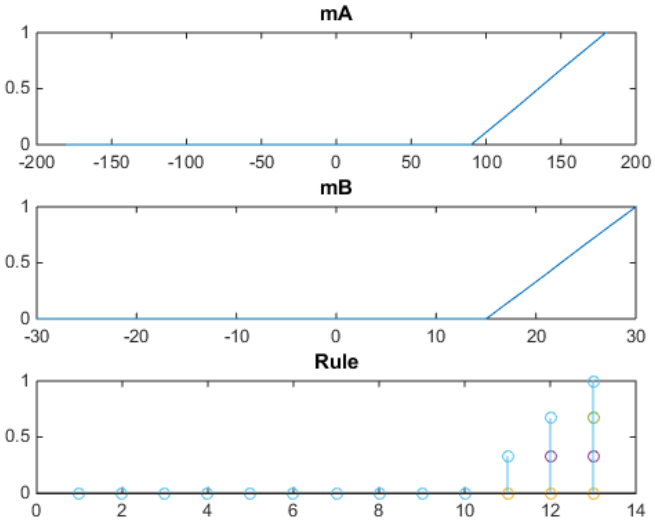
شکل ۴-۱. نمایش قانون فازی اول – R1



شکل ۴-۲. نمایش قانون فازی دوم – R2

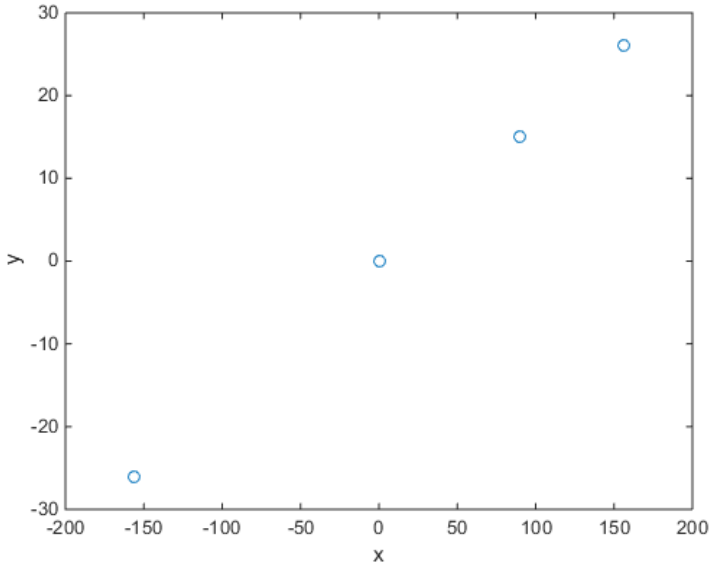


شکل ۴-۳. نمایش قانون فازی سوم – R3



شکل ۴-۴. نمایش قانون فازی چهارم – R4

اکنون هر ماتریس قانون را با استفاده از روش مرکز ثقل از حالت فازی به یک نقطه قطعی تبدیل می‌نماییم و سپس این نقاط قطعی را مطابق شکل ۴-۵ در صفحه دو بعدی x-y نمایش می‌دهیم.



شکل ۴-۵. نمایش ۴ قانون بر روی صفحه دو بعدی x-y

۴ـ۲ـ تشخیص عدم وجود قانون در سیستم (تعریف نقاط بحرانی)

برای ادامه کار می‌بایست ابتدا به تشخیص محل قانون جاافتاده بپردازیم. در مرحله بعد کار را با استخراج قانون جاافتاده و تزریق آن به سیستم به پایان می‌بریم. قبلاً توابع عضویت برای زاویه میان جت و موشک که همان پارامتر ورودی برای سیستم است را طراحی کرده‌ایم و از همان شکل توابع عضویت برای خروجی سیستم که وظیفه اصلاح زاویه را دارد استفاده نموده‌ایم.

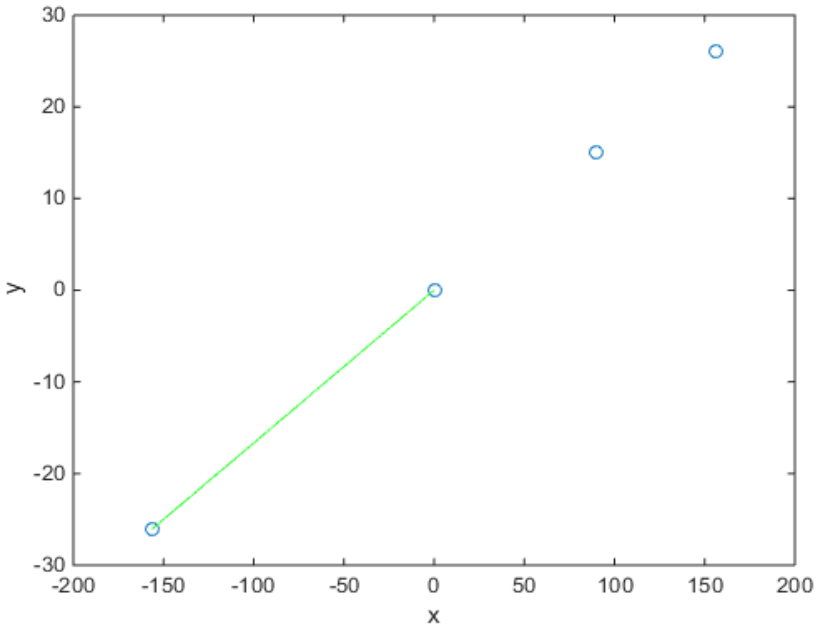
زاویه ورودی مابین -۱۸۰ تا +۱۸۰ است که این بازه را support ی ورودی می‌نامیم. زاویه حرکت در خروجی نیز مابین -۳۰ تا +۳۰ است که به عنوان تصحیح زاویه (پارامتر خروجی دریافت شده از موتور استنتاج فازی) به نام بازه support ی خروجی نام‌گذاری می‌کنیم.

حال به تعریف اصطلاح نقاط بحرانی می‌پردازیم. این نقاط را به این جهت نام‌گذاری می‌کنیم که به ازای ورودی‌های سیستم (زاویه میان جت و موشک) مقدار خروجی توسط سیستم به ما داده نشده است زیرا این مقادیر بحرانی در واقع توسط قانون یا قوانین مرتبطشان، پوشش داده نشده‌اند. لذا می‌دانیم که این نقاط، نقش مهمی در تعیین جایگاه قانون جاافتاده دارند. با توجه به سه نکته ذیل به تشخیص عدم وجود قانون در سیستم می‌پردازیم:

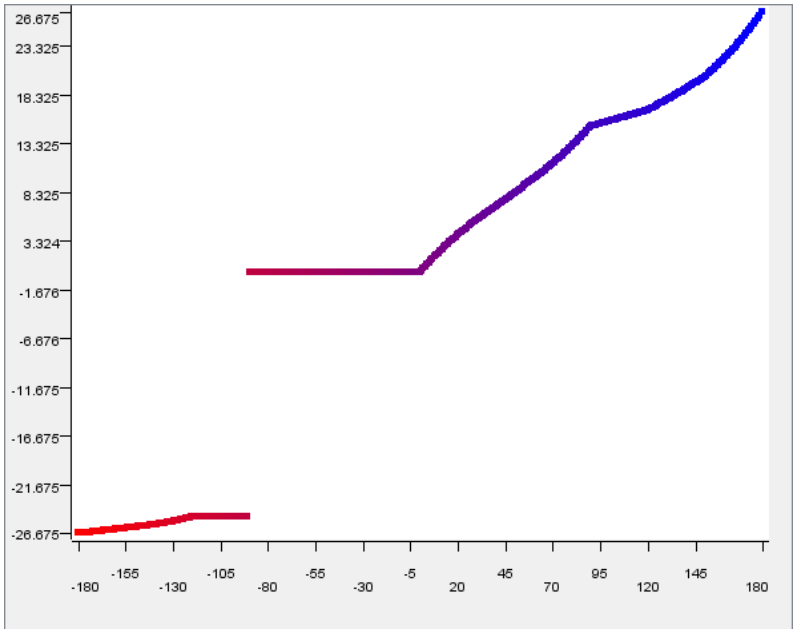
۱. وجود بیشینه فاصله بین قانون ۱ و ۲ (شکل ۴-۶)

۲. در FIS جت/موشک به ازای زاویه ۹۰- خروجی نداریم

۳. دامنه ورودی‌ها و خروجی‌ها برای قوانین ۲ و ۳ و ۴ با توجه به شکل ۳-۱و شکل ۳-۲ همدیگر را به طور کامل پوشش داده و می‌توانند قوانین نامبرده را ارضاء نمایند



شکل ۴-۶. قوانین ۱ الی ۴ به ترتیب از پایین به بالا



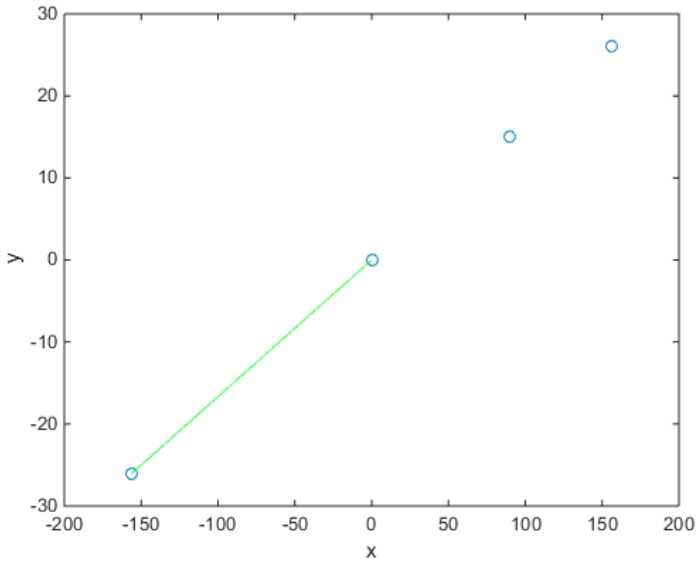
شکل ۴-۷. ورودی و خروجی سیستم قبل از استخراج قانون

از تفاضل دامنه ورودی که به ازای آن‌ها خروجی داریم از کل دامنه ورودی، می‌توانیم به نقاطی از دامنه ورودی که به ازای آن‌ها خروجی نداریم دست پیدا کنیم. در مثال جت/موشک درمی‌یابیم که سیستم به ازای نقطه ۹۰- فاقد خروجی قطعی است. این امر در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. نتیجه اینکه این نقطه بحرانی به عنوان یک ورودی قطعی بایستی در دامنه مقدمه قانون جاافتاده وجود داشته باشد. این نقطه مطابق شکل ۴-۶ در فاصله میان دو قانون اول و دوم وجود دارد. حال آنکه بررسی دامنه ورودی‌ها (زاویه‌ها) نشان می‌دهد که میان قوانین دیگر، قانون جا افتاده‌ای نداریم زیرا آن‌ها پیوسته هستند و با اشتراک میان یکدیگر، کلیه ورودی‌ها را پوشش داده‌اند. با محاسبه فاصله بین قانون‌های مجاور به صورت دو بدو نیز درمی‌یابیم که بیشینه فاصله دو قانون ۱ و ۲ نسبت به سایرین بیشتر است.

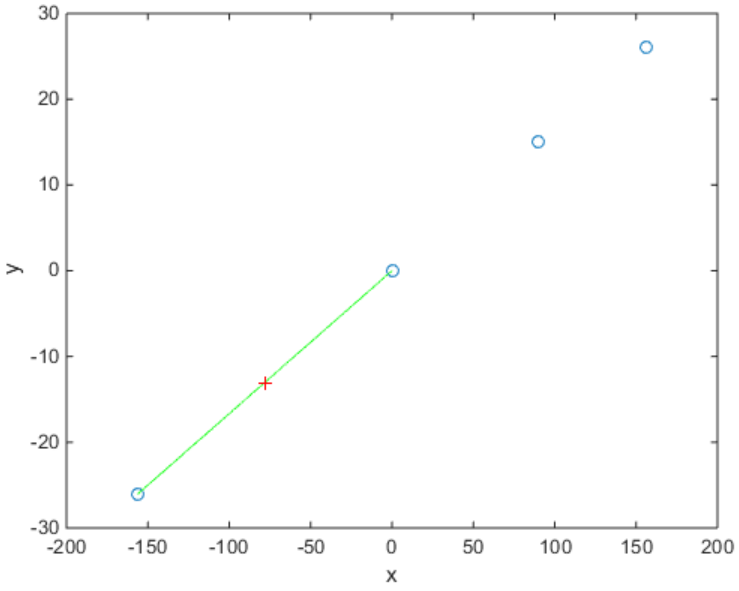
در الگوریتم KH [2] به منظور تعیین شکل تابع عضویت برای قسمت مقدمه قانون جاافتاده از روش برش آلفا و معیار فاصله استفاده شده است. ما نیز می‌توانیم شکل تابع عضویت برای قسمت مقدمه قانون جاافتاده R^* را با استفاده از برش آلفا تعیین نماییم و یا اینکه این مسئله را به انتخاب کاربر واگذار نماییم. در ضمن ملاحظه می‌شود که نقطه بحرانی یافت شده دارای حداکثر مقدار عضویت ۱ است. از طرفی ما می‌دانیم مقدار عضویت این نقطه در نقاط هسته یا کور یا نقطه رأس دو قانون سمت چپ و راستش یعنی قانون ۱ و ۲، معادل صفر است. ضمناً قوانین نباید با یکدیگر تداخل داشته باشند.

محاسبه فاصله بین قانون‌های مجاور به صورت دو به دو:

مطابق شکل ۴-۸ در کل قوانین مجاور هم، بیشینه فاصله میان دو قانون اول و دوم وجود دارد. همان طور که قبلاً ملاحظه کردیم، عدد ۹۰- نیز در این بازه موجود است حال آنکه بررسی دامنه ورودی‌ها نشان می‌دهد که در دو بخش توابع عضویت ورودی و توابع عضویت خروجی، میان سایر قوانین همپوشانی وجود دارد و با اشتراک میان آن‌ها، کلیه ورودی‌ها پوشش داده شده است. وسط بازه فاصله بیشینه‌ای را که محاسبه کرده‌ایم مطابق شکل ۴-۹ علامت‌گذاری می‌کنیم.



شکل ۴-۸. فاصله میان قانون اول و دوم به عنوان حداکثر فاصله میان قوانین



شکل ۴-۹. نمایش بیشینه فاصله میان قوانین با علامت‌گذاری وسط آن

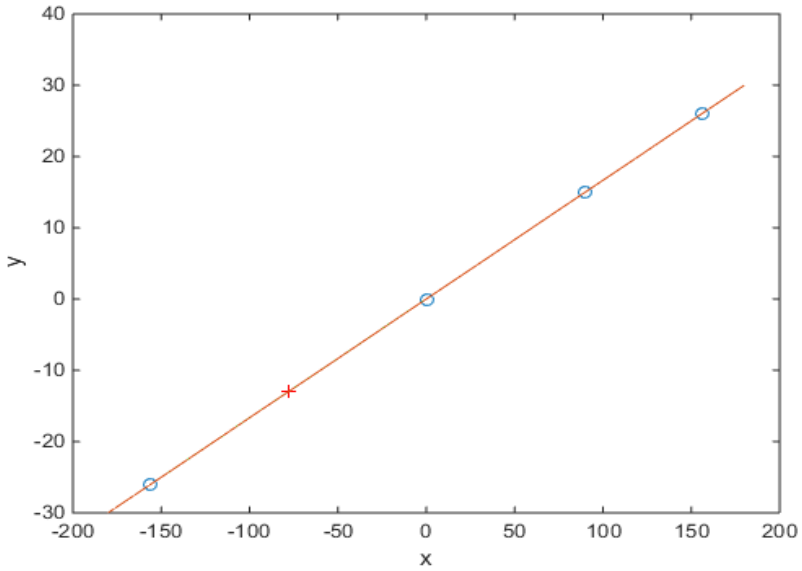
۴ـ۳ـ درون‌یابی فازی قوانین با استفاده از کمترین مربعات خطا

رویکرد ما در این مقاله استفاده از درون‌یابی فازی بر روی قوانین موجود در پایگاه دانش سیستم FIS می‌باشد. پس از آنکه ماتریس قوانین را به دست آورده‌ایم با استفاده از محاسبه کمترین مربعات خطا به درون‌یابی آن‌ها می‌پردازیم.

$$dist^2{}_{A_i,y=f(x)} = \left\{\left(d,\mu_{d_y}\right) \middle| d = f(x_A) - y_A, \mu_{d_y} = \sup_{z=d_y} \mu_{\tilde{A}}(x_A,y_A)\right\} \quad (۲-۴)$$

$$\tilde{E} = \left[\frac{1}{N}\sum_i dist^2{}_{A_{i,y=f(x)}}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (۳-۴)$$

رابطه (۴-۲) [۲۶] را برای محاسبه فاصله هر یک از نقاط نسبت به خط d (خط درون‌یابی) و رابطه (۴-۳) [۲۶] را برای محاسبه کمترین مربعات خطا بکار برده‌ایم. حال با مشتق‌گیری جزئی از رابطه (۴-۳) یک‌بار نسبت به a و بار دیگر نسبت به b به کمینه کردن مقدار خطای E می‌پردازیم و در نهایت با حل دستگاه معادله دو معلوم و دو مجهول مقادیر پارامترهای a و b را به دست می‌آوریم. مقدار a برابر 0.1667 و مقدار b برابر 1.0572e-15 است. با توجه به اینکه پارامتر b عددی بسیار کوچک را نشان می‌دهد آن را معادل صفر در نظر می‌گیریم در نتیجه معادله خط y=ax+b به صورت Y=0.1667 * X در می‌آید. حال این خط را ترسیم می‌کنیم. هر قانون سعی می‌کند که خط را سمت خود بکشد. شکل ۴-۱۰ این امر را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰. درون‌یابی قوانین با خط y=ax+b

۴ـ۴ـ استخراج قانون

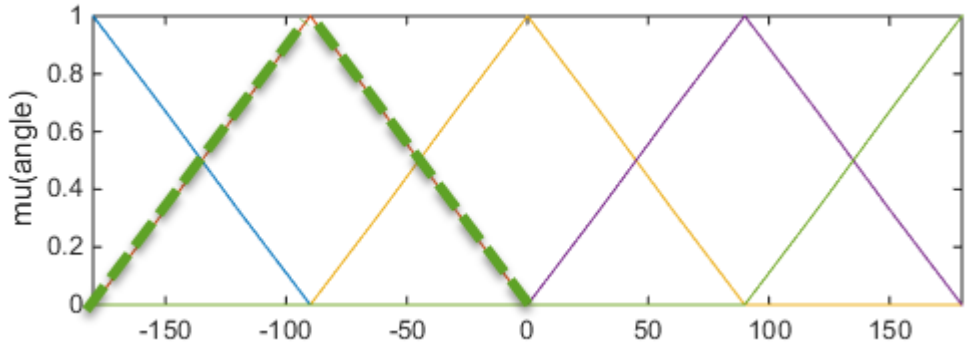
حال با مشخص بودن محل قانون جاافتاده و تعیین شکل تابع عضویت آن، قسمت مقدمه برای قانون جاافتاده مشخص شده است. پس از انجام درون‌یابی قوانین و مشخص شدن پارامترهای a و b نسبت به استخراج قسمت نتیجه قانون جاافتاده اقدام می‌نماییم. به این منظور سه ورودی ۱۸۰- و ۹۰- و ۰ را در نظر می‌گیریم. عدد ۹۰- همان نقطه بحرانی است. دو نقطه ۰ و ۱۸۰- نقاطی هستند که دو قانون سمت چپ و راست را در وضعیت فعال قرار می‌دهند. به عبارتی این دو نقطه مطابق با شکل ۳-۱ رأس یا هسته برای قوانین طرفین به حساب می‌آیند. بنابراین پاسخ قانون جاافتاده برای این دو نقطه قطعاً باید صفر باشد. سرانجام همانند روشی که برای تعیین عضویت مقدمه قانون توصیف کردیم می‌توانیم شکل تابع عضویت در خروجی را نیز تعیین نماییم. در اینجا اگر کاربر بخواهد از شکل مثلثی استفاده کند نتیجه به شکل ۴-۱۳ است. به عبارتی دیگر:

if angle is -180 then system_output is -30
if angle is -90 then system_output is -15
if angle is 0 then system_output is 0

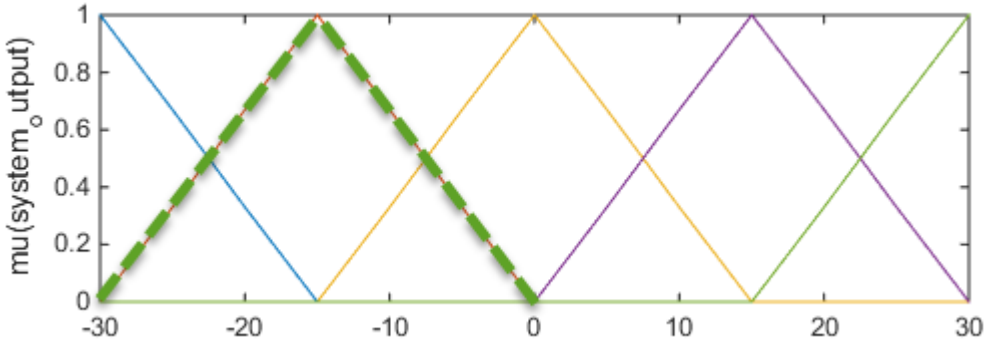
بنابراین شکل تابع عضویت برای قسمت مقدمه قانون جاافتاده به صورت یک عدد مثلثی معادل (۰ و ۹۰- و ۱۸۰-) و شکل تابع عضویت برای قسمت نتیجه آن معادل (۰ و ۱۵- و ۳۰-) است. البته رأس قطعی این اعداد مثلثی همان نقطه بحرانی هستند. حال با داشتن این اطلاعات و نظر به توضیحات قبلی، قانونی که استخراج می‌نماییم را با عنوان قانون *R برچسب می‌زنیم و با عنایت به اینکه مقدمه این قانون به پارتیشن SN از توابع عضویت اشاره دارد و نیز بخش تالی این قانون در بازه SN مقدار خروجی را تنظیم می‌کند، آن را به صورت قانون ذیل به سیستم اضافه خواهیم نمود:

if angle is SN then system_output is SN

خلاصه آنچه که انجام دادیم به این شرح است که با توجه به درون‌یابی انجام‌شده، نقاط ورودی و خروجی را بر اساس معادله خط y=ax+b به دست آوردیم و شکل تابع عضویت خروجی را نیز بر اساس شکل تابع عضویت ورودی تعیین کردیم. برای مثال، به ازای ورودی ۹۰- درجه، مقدار خروجی با استنتاج قانون استخراج‌شده معادل ۱۵- است. شکل تابع عضویت برای قانون جاافتاده مطابق شکل ۴-۱۱ و شکل ۴-۱۲ است.



شکل ۴-۱۱. شکل تابع عضویت ورودی برای قانون جاافتاده

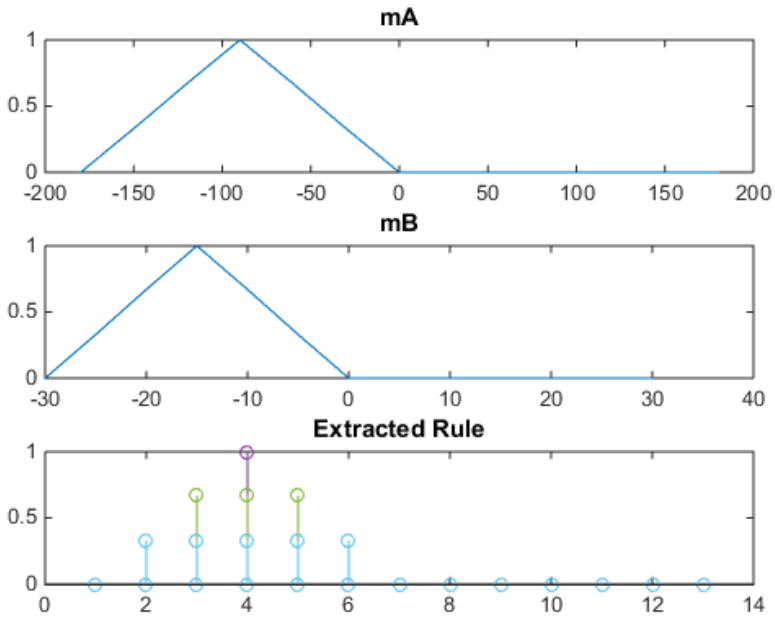


شکل ۴-۱۲. شکل تابع عضویت خروجی برای قانون جاافتاده

در نهایت با استفاده از اطلاعات نقاط بحرانی و یافتن محل قانون جاافتاده *R، این قانون را ساخته‌ایم. تابع عضویت برای خروجی قانون جاافتاده به شکل فازی با اندازه ماتریس [1*13] عبارت است از رابطه (۴-۴) که دارای ۱۳ عنصر متناظر با مقادیر تابع عضویت خروجی سیستم است.

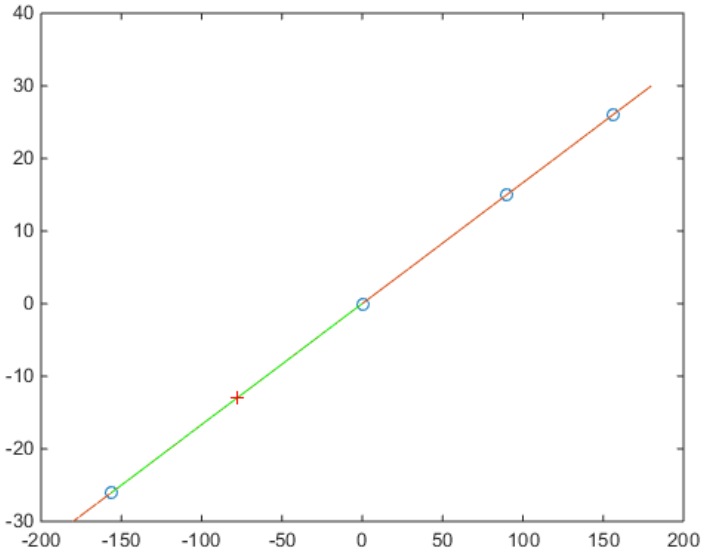
$$R^*_Output = [0\ .33\ .67\ \ 1\ .67\ .33\ 0\ \ 0\ \ \ 0\ 0\ 0\ \ \ 0\ \ 0] \quad (۴-۴)$$

قانون استخراج‌شده *R در شکل ۴-۱۳ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۳. شکل فازی قانون جاافتاده پس از استخراج

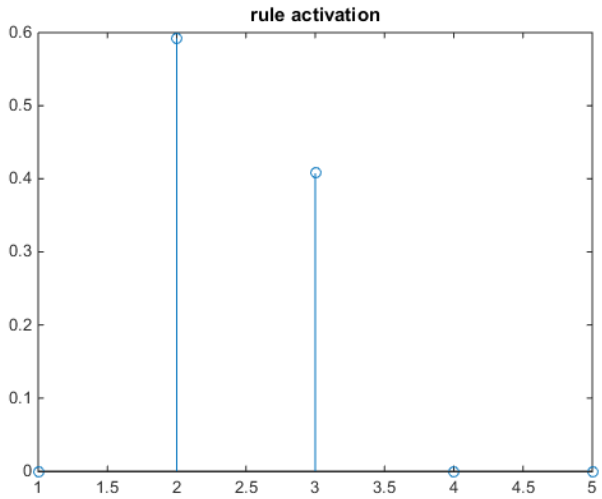
مطابق شکل ۴-۱۳ ملاحظه می‌شود که مقدار عضویت برای چهارمین عنصر معادل ۱ است. این مقدار عضویت برای عدد ورودی ۹۰- است و اولین صفر قبل و بعد از آن صفر می‌باشند که متعلق به قوانین طرفینش (R1,R3) است. هر چند در اینجا بحث Adaptive بین ورودی و خروجی و مقدار باز بودن زاویه مثلثی این قانون در ساق‌ها پیش می‌آید که در فصل ۵ در مورد آن بحث خواهیم نمود. با ملاحظه شکل ۴-۱۴ متوجه می‌شویم که نتیجه جالبی به دست آمده است و خط درون‌یابی پی به وجود ارتباط میان ورودی و خروجی داده‌ها به صورت y=x/6 برده است.



شکل ۴-۱۴. نمایش خط درون‌یابی بر روی ۴ قانون موجود در سیستم

به روز رسانی نتایج بعد از تزریق قانون استخراج‌شده :

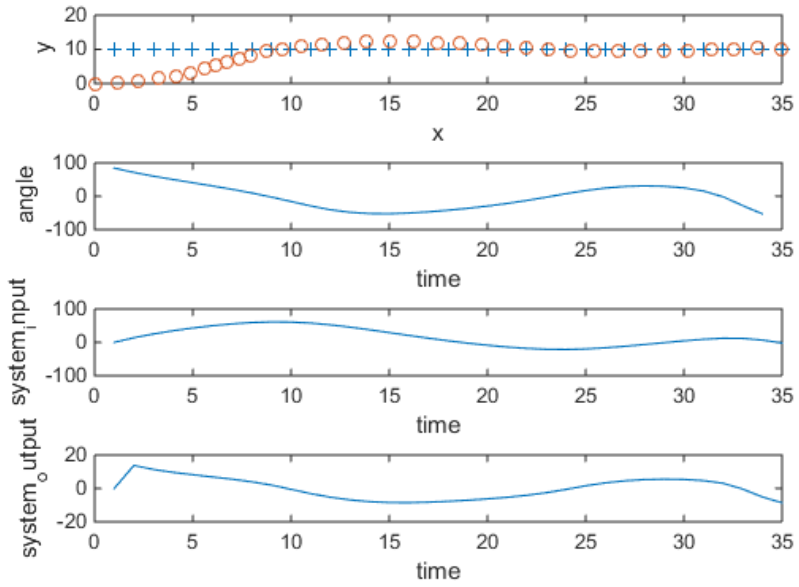
ابتدا زاویه جاری میان موشک و جت محاسبه شده و سپس به عنوان پارامتر ورودی قطعی[1] به سیستم تحویل داده می‌شود و پس از فازی سازی آن، موتور استنتاج فازی را فراخوانی می‌نماییم. خروجی حاصل از موتور استنتاج به صورت فازی است و لذا آن را توسط تابع فازی‌زدائی‌کننده با روش مرکز ثقل به نقطه قطعی تبدیل می‌نماییم تا برای تغییر موقعیت موشک مورد استفاده قرار دهیم. در نهایت خروجی را به روز رسانی می‌کنیم تا در هر حرکت، وضعیت جدید را به صورت واقعی[2] مشاهده کنیم. شکل ۴-۱۵ یک نمونه از قانون فعال‌شده در هر لحظه از زمان را نشان می‌دهد.



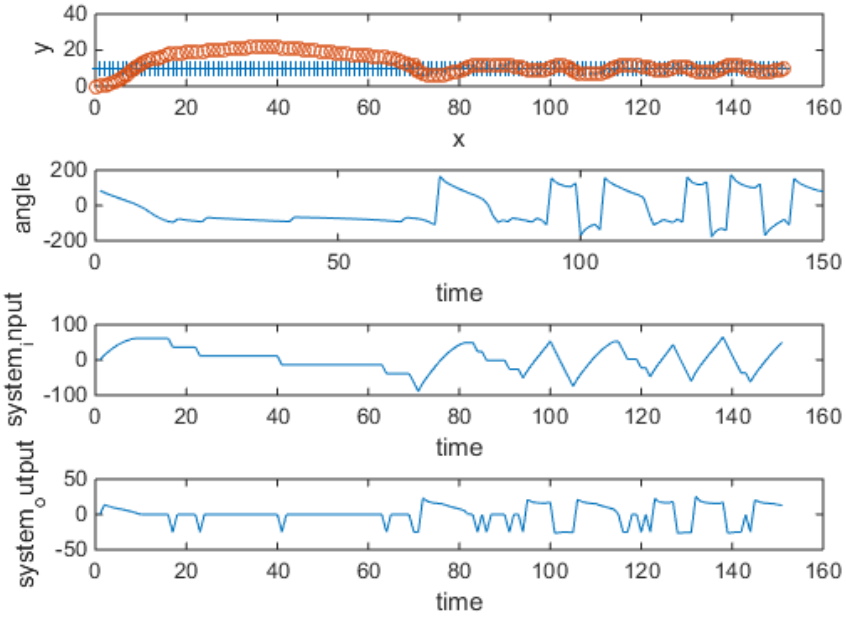
شکل ۴-۱۵. نمایش قانون فعال‌شده با اجرای سیستم جت/موشک

شکل ۴-۱۶ و شکل ۴-۱۷ به ترتیب نشان‌دهنده برخورد موشک به جت با ۳۵ حرکت و برخورد موشک به جت با ۱۵۱ حرکت می‌باشند. در حالت ۳۵ حرکت تعداد قوانین ما ۵ عدد و در حالت ۱۵۱ حرکت تعداد قوانین ما ۴ عدد است.

[1] Crisp Values
[2] Real Time

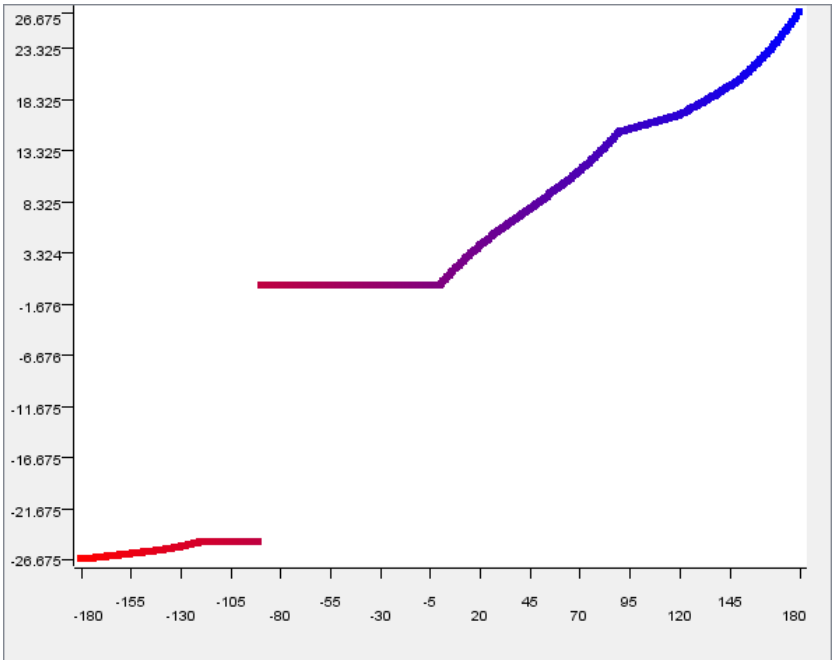


شکل ۴-۱۶. اجرای سیستم FIS جت/موشک بعد از استخراج قانون

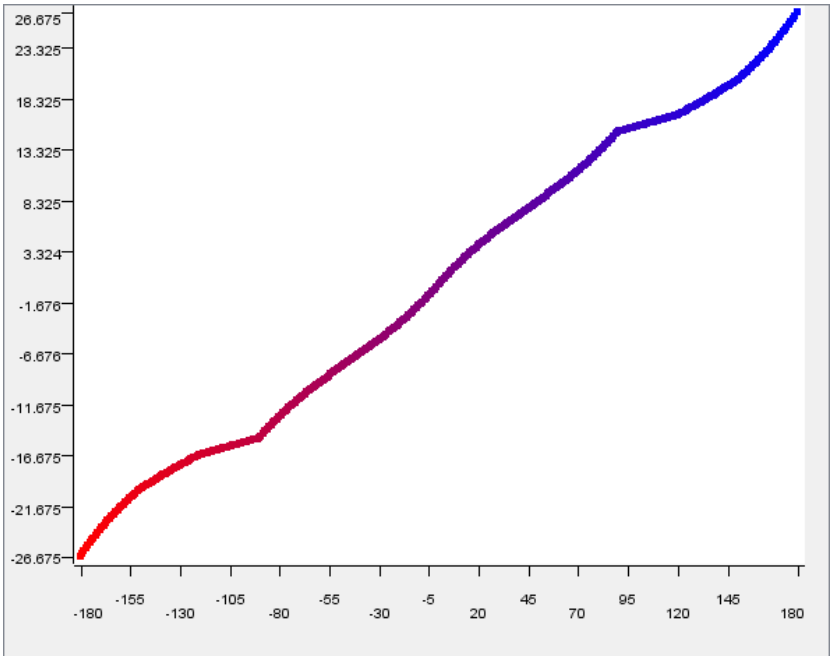


شکل ۴-۱۷. اجرای سیستم FIS جت/موشک قبل از استخراج قانون

شکل ۴-۱۸ و شکل ۴-۱۹ وضعیت کلیه داده‌های ورودی و خروجی سیستم را به ترتیب به ازای ۴ قانون و ۵ قانون نشان می‌دهند.



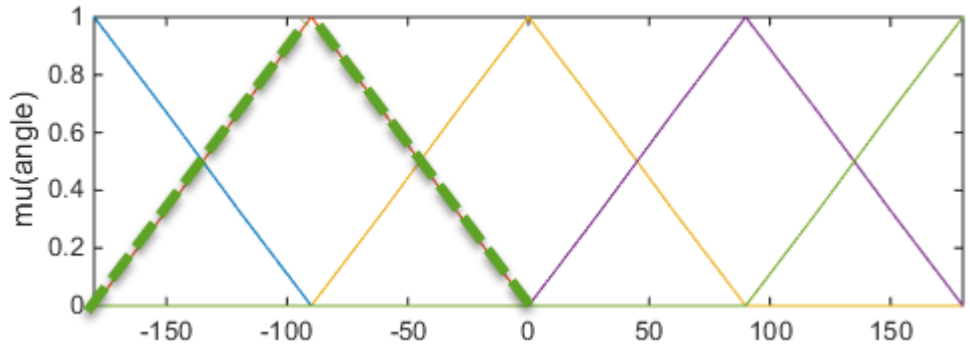
شکل ۴-۱۸. ورودی و خروجی سیستم به ازای ۴ قانون (قبل از استخراج قانون)



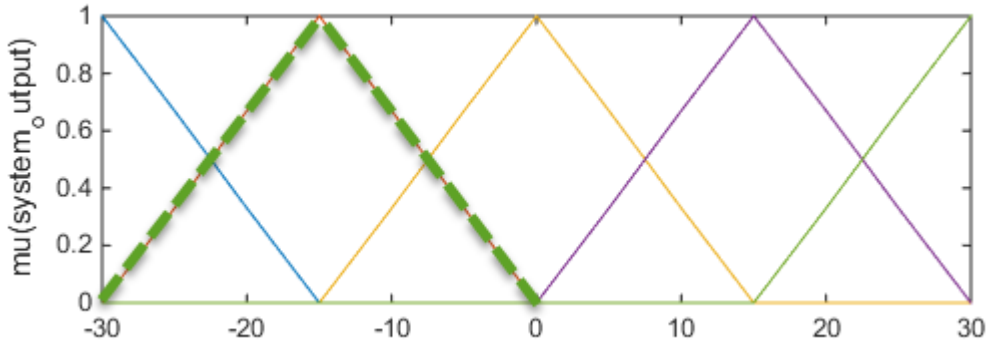
شکل ۴-۱۹. ورودی و خروجی سیستم به ازای ۵ قانون (بعد از استخراج قانون)

۴ـ۵ـ مقایسه روش معرفی‌شده با سایر روش‌ها

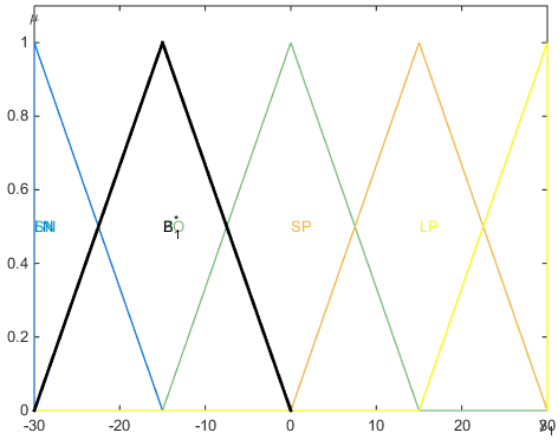
در این قسمت به مقایسه خروجی حاصل از روش معرفی‌شده با سایر روش‌های مبتنی بر FRI می‌پردازیم. با توجه به آنچه که در قبل گفته شد روش معرفی‌شده قسمت قانون جاافتاده را به دست آورده‌ایم و لیکن سایر روش‌های موجود FRI به استخراج قسمت مقدمه قانون جاافتاده نمی‌پردازند بلکه آن را از ما به عنوان یک دانش مشاهده‌شده دریافت می‌کنند. لذا طبق شکل ۴-۲۰ این مقدمه قانون جاافتاده را به سایر روش‌های ذکرشده تحویل می‌دهیم و نتیجه خروجی آن‌ها را در شکل ۴-۲۲ الی شکل ۴-۲۷ ملاحظه می‌نماییم. شکل ۴-۲۱ نیز نتیجه حاصل از روش معرفی شده است.



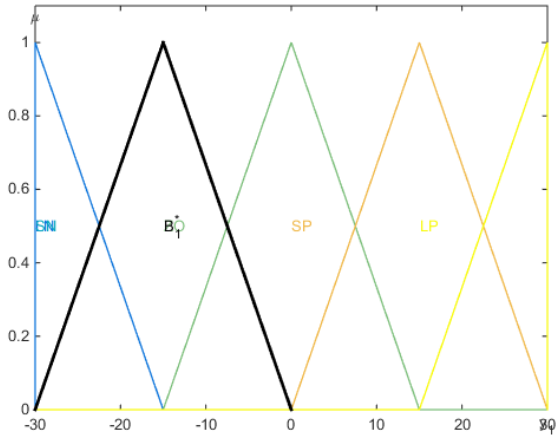
شکل ۴-۲۰. نمایش بخش مقدمه قانون جاافتاده با استفاده از روش معرفی‌شده



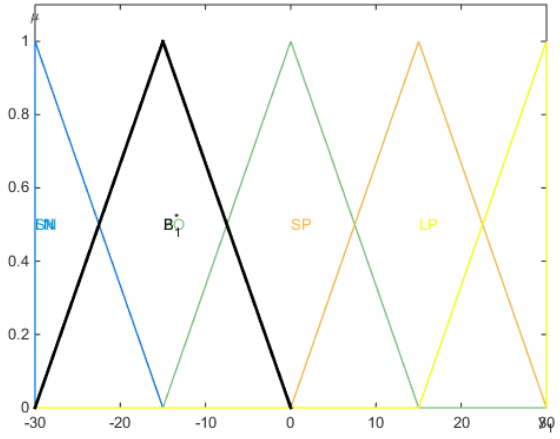
شکل ۴-۲۱. نمایش بخش نتیجه قانون جاافتاده با استفاده از روش معرفی‌شده



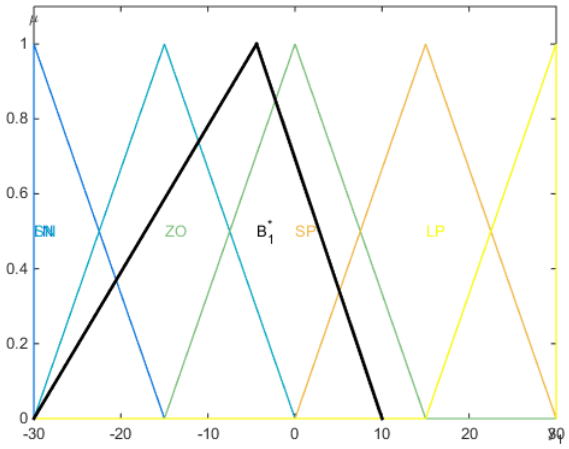
شکل ۴-۲۲. روش KH



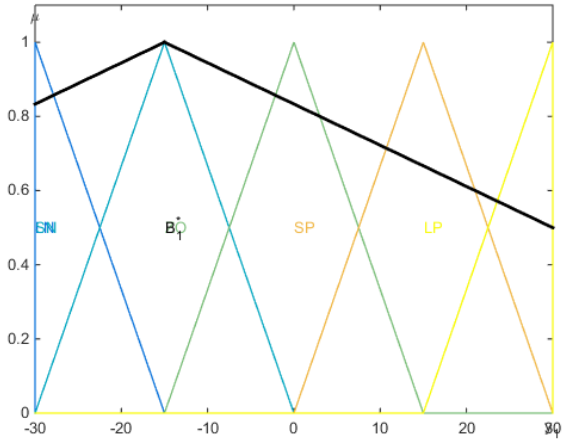
شکل ۴-۲۳. روش CRF



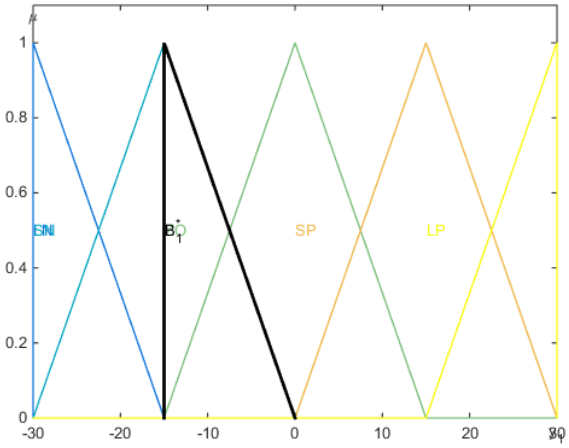
شکل ۴-۲۴. روش VKK



شکل ۴-۲۵. روش KH stabilized



شکل ۴-۲۶. روش IMUL

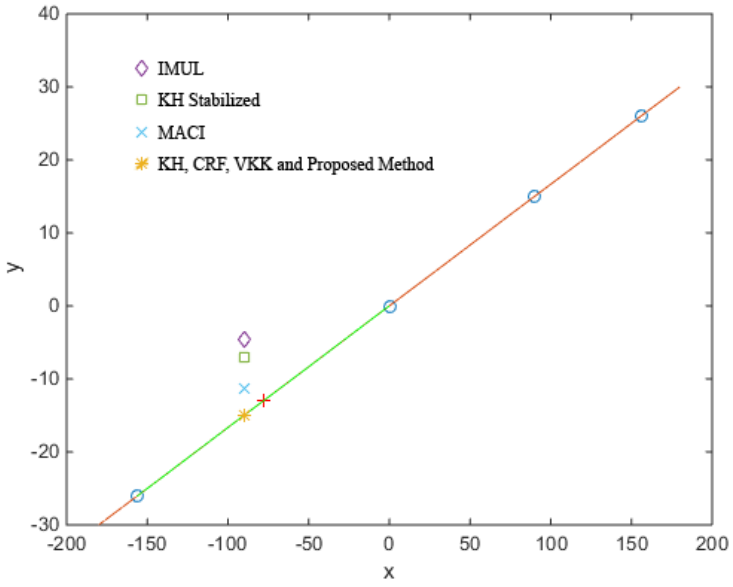


شکل ۴-۲۷. روش MACI

۴ـ۶ـ ارزیابی

می‌دانیم بررسی راه‌های مقابله با عدم اطمینان یکی از مسائل مهم برای درون‌یابی قوانین است. همان طور که در فصل ۱ به موضوع عدم اطمینان موجود در داده‌های درون یک سیستم FIS اشاره شد برخی از روش‌های موجود FRI را که برای مقایسه با روش معرفی‌شده استفاده نموده‌ایم نتایج مختلفی را برای قانون جاافتاده پیش‌بینی می‌کنند.

پس از انجام مقایسه در بخش ۴ـ۵ به این نتیجه می‌رسیم که می‌توانیم از روش پیشنهادی به عنوان یک معیار جهت انتخاب یکی از روش‌های FRI استفاده نماییم. در مورد نحوه طراحی شکل تابع عضویت برای قسمت مقدمه و نتیجه قانون جاافتاده نیز می‌توانیم یا بر عهده کاربر واگذار کنیم و یا از روش برش آلفا و معیار فاصله الگوریتم KH و سایر روش‌ها استفاده کنیم.



شکل ۴-۲۸. مقایسه خروجی روش معرفی‌شده با برخی روش‌های موجود

در شکل ۴-۲۸ ترتیب قوانین را از پایین به بالا متعلق به قانون‌های ۱ الی ۴ در نظر می‌گیریم. علامت "+" بر روی خط وسط بازه قانون اول و قانون دوم را نشان می‌دهد که محل قانون جاافتاده است. نتایج مقایسه نشان می‌دهد که روش‌های IMUL و KH stabilized و MACI به ترتیب به خط درون‌یابی نزدیک تر هستند. علامت * نتیجه روش معرفی‌شده است. البته خروجی روش‌های KH و CRF و VKK نیز تقریباً منطبق بر روش معرفی‌شده است.

با توجه به این موضوع از میان روش‌های موجود می‌توانیم روشی را برای استخراج قانون استفاده کنیم که مقدار خروجی حاصل از قانون جاافتاده را در کمترین فاصله از مدل درون‌یابی شده (خط درون‌یابی) پیش‌بینی می‌کند. خطای درون‌یابی روش معرفی‌شده تقریباً معادل صفر است لذا با توجه به عمل تبدیل قوانین فازی به نقاط قطعی حتی با این که کمی اطلاعات فازی را از دست می‌دهیم نتیجه حاصل از روش معرفی‌شده از دقت بالایی برخوردار است.

پس از استخراج قانون با استفاده از روش پیشنهادی و تزریق آن به سیستم، مشاهده شد که موشک ۵ بار سریع تر به جت رسید. اگر به قانون تولیدشده توجه کنیم عبارت فازی قانون ما به این صورت است: "اگر ورودی منفی کم است آنگاه خروجی منفی کم است". یکی از نتایج اصلی این است که روش پیشنهادی موجب کاهش مراحل استنتاج می‌شود. تشخیص محل قانون جاافتاده و کشف نقطه بحرانی در روش پیشنهادی مدنظر قرار گرفته است.

اگر دامنه ورودی‌هایی که توسط قوانین موجود پوشش داده شده‌اند را از دامنه کل ورودی‌ها تفریق کنیم، دامنه ورودی‌هایی که توسط هیچ قانونی پوشش داده نشده‌اند را به دست می‌آوریم. البته اگر فاصله میان دو قانون سمت چپ و راست قانون جاافتاده را در نظر بگیریم ملاحظه شد که حداکثر فاصله میان این دو قانون بیشتر است نسبت به فاصله میان قانون‌های دیگر. همچنین مشاهده شد که نقاط قطعی برای تابع عضویت متعلق به قانون جاافتاده در سایر قوانین صفر است (قوانین متداخل نیستند).

گاهی استخراج قانون ممکن است کمک خاصی به سیستم فازی نکند و چه بسا صرفاً موجب افزایش پردازش محاسباتی شود. در واقع استخراج قانون می‌بایست جای خالی قواعد مهم تر و با اولویت بالاتر را برای ما تأمین کند. در ضمن باید دقت کنیم که برای استخراج قانون در یک FIS قوانین با یکدیگر نباید تداخل۱ داشته باشند. یعنی دو قانون با مقدمه یکسان و نتیجه مختلف در سیستم نباید وجود داشته باشد.

در مرجع [12,13] نویسنده در ارزیابی و مقایسه روش خود با برخی از روش‌ها از ترکیب معیار فاصله و وزن جهت پیش‌بینی قسمت نتیجه قانون مشاهده‌شده (قانون جاافتاده) استفاده کرده است. به عنوان یک پیشنهاد می‌توان روش پیشنهادی را با روش بیان‌شده در مرجع [13] ترکیب نمود. یک راهکار پیشنهادی استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی است. از این الگوریتم‌ها می‌توان جهت آموزش و تست بر روی داده‌های ورودی ـ خروجی یک سیستم استفاده کرد و از نتایج آن برای استخراج قانون بهره جست. ممکن است از روش پیشنهادی برای FIS

هایی که به صورت زمان واقعی[1] کار می‌کنند نیز استفاده کرد. همچنین می‌دانیم اگر دو قانون را با هم ترکیب کنیم، قانون دوم زیرمجموعه‌ای از قانون اول است. لذا می‌توان از مزایای روابط بین قوانین مطابق با دانش فازی استفاده کرد. در ضمن الگوریتم پیشنهادی با توجه به عملیات درون‌یابی می‌تواند برای کشف ارتباط ریاضی بین ورودی و خروجی‌ها در فضای x-y و الگوریتم‌های پیش‌بینی کننده مانند پیش‌بینی سری زمانی به ما کمک کند.

یکی از نتایجی که می‌توان در اجرای این پژوهش استنباط کرد این است که از روش معرفی‌شده می‌توان برای متراکم کردن پایگاه قوانین یک سیستم خبره استفاده کرد به صورتی که فقط قوانین لازم باقی بماند.

[1] Real Time

فصل پنجم

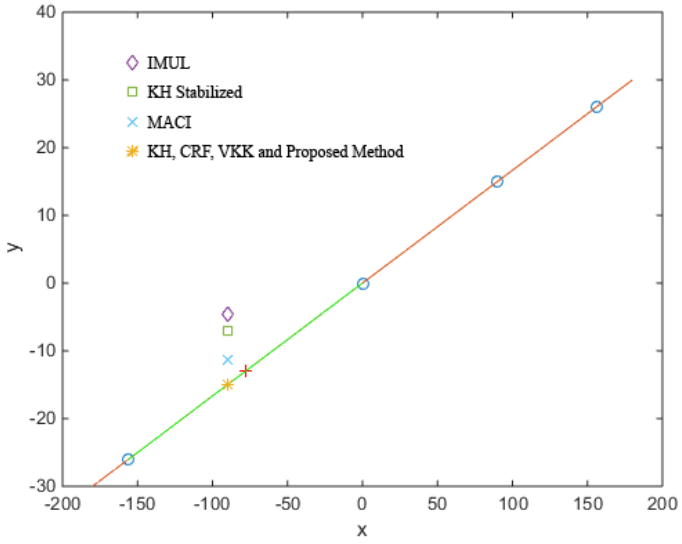
بحث و نتیجه‌گیری

فصل ۵ــ بحث و نتیجه‌گیری

۵ــ۱ــبحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور بهینه‌سازی یک سیستم خبره فازی نامطمئن با استفاده از درون‌یابی قوانین به استخراج قانون جاافتاده پرداختیم و روش پیشنهادی را ارائه دادیم. از مزایای این روش نسبت به سایر روش‌ها تشخیص محل قانون جاافتاده و کشف نقطه بحرانی است. پس از استخراج قانون جاافتاده و تزریق آن به سیستم از مراحل استنتاج در سیستم کاسته شده و بازدهی سیستم به طور چشمگیری افزایش یافته است. لذا استفاده از روش پیشنهادی به عنوان یک معیار برای انتخاب و ارزیابی سایر روش‌های FRI و نیز کاهش مراحل استنتاج از جمله نتایج این پژوهش است.

تشخیص وجود یا عدم وجود یک قانون در سیستم و استخراج قانون جاافتاده در شرایط عدم اطمینان برای داده‌ها و قوانین از جمله مطالبی است که در این پژوهش مورد نظر قرار گرفته است. در مورد نحوه طرح شکل تابع عضویت برای بخش مقدمه از قانون جاافتاده نیز می‌توانیم یا به عهده کاربر قرار دهیم و یا از روش برش آلفا و معیار فاصله همچون الگوریتم KH استفاده کنیم. برای انتخاب یکی از روش‌ها مطابق شکل ۵-۱ می‌توان موردی را برگزید که نزدیک‌ترین فاصله را با خط درون‌یابی حاصل از روش معرفی‌شده دارد. در کل می‌توان از ترکیب روش معرفی‌شده با سایر روش‌ها استفاده کرد. در این پژوهش کاهش مراحل استنتاج موجب افزایش بازدهی سیستم شده است.



شکل ۵-۱. نمایش خروجی حاصل از روش معرفی‌شده

به منظور بیان اهمیت اجرای این پژوهش می‌توان به عملیات درون‌یابی قوانین فازی و استخراج قانون جاافتاده اشاره کرد که در حال حاضر برای محققین به عنوان یک دغدغه مطرح است. علی‌الخصوص در شرایط عدم اطمینان که با اطلاعات شبیه‌سازی شده و یا نامطمئن سر و کار داریم.

نتیجه اول :

پس از استخراج قانون با استفاده از روش پیشنهادی و تزریق آن به سیستم مشاهده شد که موشک ۵ بار سریع تر به جت رسید. اگر به قانون استخراج‌شده توجه کنیم عبارت فازی قانون ما به صورت "اگر زاویه ورودی عدد منفی کوچک است آنگاه زاویه خروجی عدد منفی کوچک است" خواهد بود. این قانون سیستم FIS را در حالتی بازنشانی می‌کند که خروجی آن با استفاده از استنتاج این قانون برای تغییر زاویه موشک، برای ما مطلوب است.

نتیجه دوم :

همانطور که در ابتدا بیان شد یکی از نتایج اصلی این است که روش معرفی‌شده موجب کاهش مراحل استنتاج می‌شود. تشخیص محل قانون جاافتاده و کشف نقطه بحرانی در این روش مد نظر قرار گرفته است. اگر دامنه ورودی‌هایی که توسط قوانین موجود پوشش داده شده‌اند را از دامنه کل ورودی‌ها تفریق کنیم، دامنه ورودی‌هایی که توسط بخش مقدمه هیچ قانونی پوشش داده نشده‌اند را به دست می‌آوریم. البته اگر فاصله میان دو قانون طرفین قانون جاافتاده را در نظر بگیریم ملاحظه شد که حداکثر فاصله میان این دو قانون نسبت به فاصله میان قانون‌های مجاور دیگر بیشتر است. همچنین مشاهده شد که نقاط قطعی که به منزله رأس برای تابع عضویت متعلق به قانون جاافتاده هستند در سایر قوانین معادل صفر است. در این پژوهش فرض شده است که قوانین با یکدیگر تداخل[1] ندارند. یعنی نباید دو قانون با مقدمه یکسان و تالی (نتیجه) مختلف در سیستم موجود باشد.

نتیجه سوم :

اگر قانون جاافتاده با نام *R را میان دو قانون R1 و R2 در نظر بگیریم، حضور تابع عضویت ورودی سیستم که بخش مقدمه *R را پوشش دهد عملاً به خاطر فقدان آن قانون در پایگاه قوانین سیستم، موجب ایجاد تغییر در خروجی سیستم نخواهد شد.

نتیجه چهارم :

[1] Conflict Rules

در این پژوهش با توجه به اینکه سیستم پس از تزریق قانون جاافتاده ۵ برابر سریع‌تر عمل نموده است به منظور بهینه‌سازی می‌توانیم اندازه فازی بودن توابع عضویت و شکل آن‌ها در مورد قانون جاافتاده را به انتخاب کاربر تعیین کرده و یا به روش دلخواه دیگر عمل نماییم. شکل تابع عضویت می‌تواند گاوسی، ذوزنقه‌ای و یا مثلثی باشد.

نتیجه پنجم:

به عنوان تعمیم، می‌توان از الگوریتم معرفی‌شده برای استخراج قانون در سیستم‌های خبره فازی که دارای چند ورودی و چند خروجی هستند استفاده نمود.

نتیجه ششم:

برای بهینه‌سازی می‌توانیم از ترکیب قوانین با یکدیگر استفاده نماییم. به عنوان مثال اگر دو قانون را با هم ترکیب کنیم، قانون دوم زیرمجموعه‌ای از قانون اول است. حال با بررسی شرایط و نوع بهره وری از یک قانون می‌توان از مزایای روابط بین قوانین مطابق با دانش فازی استفاده کرد.

از آنجا که هدف اصلی این پژوهش، بهینه‌سازی سیستم خبره فازی با استفاده از درون‌یابی قوانین است با عنایت به کاربرد فراوانی که این‌گونه سیستم‌ها در قالب کنترل‌کننده‌های فازی و شبیه‌سازها در صنعت دارند می‌توان گفت دامنه این پژوهش تا جایی گسترده است که می‌تواند در حل مسایل روز از جمله مقابله با عدم اطمینان، هوشمند سازی برتر با استفاده از کاهش یا افزایش قوانین موجود در سیستم، پیش‌بینی سری‌های زمانی (یافتن عامل یا عاملین غایب و تأثیرگذار)، تقریب معادلات و کشف ارتباط ریاضی میان داده‌های ورودی ـ خروجی در فضای x-y، پیش‌بینی یک پارامتر و تأثیرگذار در میان پارامترهای ورودی که احتمال می رود پیش‌بینی نشده است (به عنوان قانون جاافتاده) و مانند آن به ما کمک کند. مرجع [12] با استفاده از معیار وزن به منظور بهینه‌سازی به درون‌یابی قوانین فازی[1] و استخراج قسمت نتیجه قانون پرداخته است. می توان روش معرفی‌شده را با روش مذکور ترکیب نمود.

بحث در مورد سیستم خبره فازی تهویه اتاق عمل :

همان طور که قبلاً بیان کردیم سیستم تهویه هوای اتاق عمل دارای ۵ پارامتر ورودی و ۳ تابع عضویت برای هر یک از آن‌هاست. لذا در این سیستم از ۲۴۳ قانون که معادل ۳ به توان ۵ است

[1] Fuzzy Rules Interpolation

استفاده کرده‌ایم. در نتیجه تعداد قوانین این سیستم کامل است؛ یعنی در آن قانون جاافتاده نداریم. اما کامل بودن قوانین یک سیستم به منزله بهتر بودن آن نیست. حال به عنوان یک بحث قابل ذکر است که اگر تعدادی از این قوانین در پایگاه دانش این سیستم موجود نبودند، سیستم دارای بازدهی مناسبی نبود و از این رو یک سیستم نامطمئن به شمار می‌آمد. البته در این سیستم از پارامتر پنجم یعنی گاز بی‌هوشی نیز استفاده شده است. در کاربردهای دیگر ممکن است از پارامتر پنجم یعنی گاز بی‌هوشی و یا هر پارامتر دیگری استفاده نشده باشد. به عبارتی این سیستم در حالت مطمئن و با دارا بودن تعداد کاملی از قوانین، هوای اتاق عمل را با کارکرد موتورها به خوبی تهویه می‌کند و تا حد زیادی از اثرات منفی که هوای محیط می‌تواند بر روی بیمار و کارکنانی که در آن محیط کار می‌کنند داشته باشد، می‌کاهد. از این سیستم با تغییرات مناسب، می‌توان برای کنترل فن ریزپردازنده[1] یک رایانه و سایر موارد استفاده کرد. لذا با توجه به اهمیت کاربرد آن دو مسئله قابل طرح است :

۱. کامل بودن قوانین در سیستم‌های خبره همیشه ضرورت ندارد. یک سیستم خبره از لحاظ کامل بودن قوانین[2] و دارابودن قوانین فشرده[3] می‌تواند دارای تعداد قوانین لازم و کافی باشد.
۲. در صورت غایب بودن یک پارامتر ورودی مانند گاز بی‌هوشی، آیا با استفاده از رویکرد معرفی شده در این پژوهش می توان به کشف این پارامتر و تزریق آن به ورودی های سیستم پرداخت؟ این موضوعی است که در جایگاه خود نیاز به تحقیق بیشتری خواهد داشت.

با تعریف پارامتر پنجم گاز بی‌هوشی برای سیستمی که فاقد آن است مزایای ذیل قابل ذکر است :

۱. میزان گازهای بی‌هوشی در محیط بررسی می‌شود و قبل از اینکه باعث مسمومیت بیمار و کارکنان شود سیستم با تنظیم کردن سرعت موتورها از غلظت آن می‌کاهد.
۲. داده‌ها به صورت دقیق و بر اساس استانداردهای لازم در نظر گرفته شده است.
۳. از لحاظ اقتصادی به دلیل کارکرد کمتر موتور در سرعت‌های بالاتر، مقرون به صرفه است.

از طرفی به این دلیل که استانداردهای مختلف لحاظ شده است این سیستم می‌تواند در محیط‌های مختلف کار کند. مسئله این است که اگر استانداردی وجود نداشت آیا به طریق درون‌یابی می‌توان به تعریف آن برای سیستم اقدام کرد؟ بررسی این موارد در صنایع و کاربردهای مختلف حائز اهمیت است.

[1] Cpu
[2] Completeness
[3] Compactness

۵ـ۲ـ پیشنهادها

می‌توان برای روش معرفی‌شده یک جعبه ابزار[1] طراحی نمود و بازخور نتایج کار بر روی آن را مورد بررسی قرار داد. برخی پیشنهادها را به عنوان کارهایی در راستای افق آینده بیان می کنیم :

- تعمیم روش پیشنهادی به FIS های چند ورودی و چند خروجی
- قابلیت ترکیب روش پیشنهادی با سایر روش‌ها
- استفاده از روش پیشنهادی با کمک تطبیق فازی با تأثیر ورود پارامتر جدید به FIS و آزمایش سیستم با تغییر پارامترها و شکل توابع عضویت برای قوانین
- بررسی کمبود قوانین جهت استخراج قانون و بررسی کامل بودن[2] و فشرده بودن[3] قوانین در FIS به منظور کاهش مراحل استنتاج
- بررسی کارایی روش پیشنهادی در محیط پرخطر مانند رادیو اکتیو که روبات با یک حالت ناشناخته مواجه می‌شود

همچنین راهکارهای ذیل قابل ذکر است :

۱. بررسی کل فضای حالت جستجو با توجه به نظر افراد خبره برای تعیین مشخصات قوانین فازی سیستم خبره
۲. بررسی رفتار سیستم پس از درون‌یابی قوانین برای سیستم‌های گوناگون
۳. آزمایش سیستم در حضور افراد خبره و بررسی بازخور نتایج با تغییر پارامترها و شکل توابع عضویت برای قوانین
۴. از آنجا که در برخی از سیستم‌های خبره لازم است که خروجی نهایی با ملایمت و تدریجی افزایش یا کاهش داده شود (مانند جعبه دنده اتوماتیک خودرو) بررسی شود که چطور می‌توان با استفاده از رویکرد معرفی‌شده به پیش بینی پارامتر مورد نظر اقدام کرد.

شبیه‌سازی قوانین باید به صورتی باشد که حداکثر ظرفیت مورد نیاز ما را تأمین کند. افزودن قانون جاافتاده ممکن است کمک خاصی به سیستم فازی نکند. در این حالت راهکاری را باید برگزینیم که در امر شبیه‌سازی قوانین به ما کمک کند. به این منظور جای خالی قواعد مهم‌تر و با

[1] Toolbox
[2] Completeness
[3] Compactness

اولویت بالاتر را باید برای ما پر کند. به نظر ما حداکثر انطباق میان یک سیستم مطمئن (دارای تعداد قوانین لازم و کافی) و حالتی از آن سیستم که فاقد قانون مورد نیاز است باید مورد نظر قرار گیرد.

به عنوان یک پیشنهاد، آزمایش استخراج قانون جاافتاده برای سیستم تهویه اتاق عمل قابل طرح است. ابتدا کل قوانین در سیستم موجود است انجام می‌دهیم و بار دیگر با حذف تعدادی از قوانین می‌توانیم با استفاده از روش معرفی‌شده به درون‌یابی قوانین بپردازیم. لذا با مقایسه نتایج حاصل، می‌توانیم میزان موفقیت خود را با انطباق میان حالت کل و حالت شبیه‌سازی شده، محک بزنیم.

راهکار پیشنهادی دیگر استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی است تا بر روی داده‌های آموزشی و تستی بتوان روش معرفی‌شده را آزمایش کرد. از روش درون‌یابی قوانین که معرفی کرده‌ایم شاید بتوان به عنوان تابع هزینه استفاده نمود و خروجی مورد انتظار را مطابق با خروجی مطلوب پروژه در نظر گرفت. الگوریتم‌های هوش مصنوعی بعضاً سریع و برخی کند هستند ولی در رابطه با میزان استفاده از حافظه، زمان پردازش و تعداد عملیات می‌بایست اولویت مناسب و دقت کار را در نظر بگیریم.

برای طراحی سیستم‌های زمان واقعی نیز شاید بتوان از کاربرد روش معرفی‌شده برای تولید قوانین مورد نیاز استفاده کرد. به عنوان مثال، یک هواپیمای جنگی در یک جنگ شبیه‌سازی شده که محاسبات لازم و همچنین یافتن قواعد بیشتر حین انجام عملیات پرواز را لازم دارد.

مسئله قوانین زائد[1] نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا پیشنهاد می‌شود با عنایت به رویکرد معرفی‌شده در این پژوهش، تشخیص وجود قوانین زائد به منظور حذف آن‌ها مورد تحقیق قرار گیرد.

پیشنهادی در خصوص الگوریتم‌های پیش‌بینی کننده:

همچنین پیشنهاد می‌شود از روش معرفی‌شده در الگوریتم‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی استفاده شود. به عنوان مثال بررسی شود که چنانچه پارامتری با شکل و تابع عضویت دلخواه در آن دخیل شود خروجی سیستم به چه وضعیتی قرار خواهد گرفت. همچنین از این لحاظ که بتوان پارامتری نویز مانند را درون آن یافت و حذفش کرد و یا اینکه بتوان پارامتری مفید که در ورودی‌های آن وجود نداشته باشد را در آن تزریق و دخالت داد مورد ارزیابی قرار گیرد.

[1] Redandant Rules

ضمیمه أ – لیست برخی از دستورات در نرم‌افزار متلب

برخی از دستوراتی را که برای دسترسی به بخش‌های مختلف یک سیستم FIS در محیط متلب مورد استفاده قرار می‌گیرد بدین قرار است :

برای نمایش تابع عضویت اولین پارامتر ورودی سیستم

```
plotmf(fis,'input',1);
```

محاسبه پاسخ سیستم و دریافت خروجی به ازای پارامتر ورودی مورد نظر:

```
evalfis([1], fis);
```

باز کردن کادر ویرایش‌گر سیستم فازی

```
anfisedit(fis);
```

باز کردن کادر ویرایش‌گر برای توابع عضویت و قوانین[1]

```
mfedit(fis);
ruleedit(fis);
```

نمایش قوانین

```
ruleview(fis);
```

نمایش خروجی سیستم بر حسب پارامترهای ورودی به صورت سه بعدی

```
surfview(fis);
```

خواندن کامل سیستم فازی و نمایش خروجی

```
jet_racket_output = readfis('jet_racket.fis');
gensurf(jet_racket_output);
```

[1] Rules

فهرست مراجع

[1] Joseph C. Giarratano, G. D. (2004). *Expert Systems_ Principles and Programming* (4th ed.). Boston: Course Technology.

[2] Koczy, L. T. (1997). Size Reduction by Interpolation in Fuzzy Rule Bases (KH). *IEEE Transactions of System, Man and Cybernetics, Vol.27*, 14–25.

[3] Koczy L.T., H. K. (1997). Fuzzy rule interpolation by the conservation of relative fuzziness (CRF). *Technical Report TR 97/2*. *Hirota Lab, Dept. of Comp. Intelligent and Sys. Sci., Tokyo Institute of Technology, Vol.97 No.2*, 16.

[4] Vass, G. ,. (1992). Extension of the fuzzy rule interpolation method (VKK). *in Proc. Int. Conf. Fuzzy Sets Theory Applications (FSTA '92), Liptovsky M., Czechoslovakia*, 1-6.

[5] Wong, K. W. (2005, December). Fuzzy rule interpolation for multidimensional input spaces with applications: A case study (IMUL). *IEEE Trans of Fuzzy Systems, Vol.13 No.6*, 809-819.

[6] Tikk, D. (2003, September). Notes on the approximation rate of fuzzy KH interpolator (KH stabilized). *Fuzzy Sets and Systems, Vol.138 No.2*, 441-453.

[7] Tikk, D. G. (2002). A fuzzy interpolation algorithm closed over CNF sets (MACI). *International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 4 No. 1*, 634-638.

[8] Dávid Vincze, S. K. (2011). Performance Optimization of the Fuzzy Rule Interpolation Method 'FIVE' (FIVE). *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol.15 No.3*, 313-320.

[9] Johanyák, Z. (2011, November). Performance Improvement of the Fuzzy Rule Interpolation Method LESFRI (LESFRI). *in Proceeding of the 12th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics*, 271-276.

[10] Johanyák, Z. (2010). Fuzzy Rule Interpolation based on Subsethood Values (FRISUV). *in Proceedings of 2010 IEEE Interenational Conference on Systems Man, and Cybernetics*, 2387-2393. doi:10.1109/ICSMC.2010.5641956

[11] Shyi-Ming Chen, F. I.-C. (2011). Weighted Fuzzy Rule Interpolation Based on GA-Based Weight-Learning Techniques. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 16.

[12] SHYI-MING CHEN*, Y.-C. C.-J.-L. (2013). Fuzzy Rules Interpolation. *Multiple fuzzy rules interpolation with weighted antecedent variables in sparse fuzzy rule-based systems*, 15. doi:10.1142/S0218001413590027

[13] Johanyák Z. C., B. A. (2008). Survey on fuzzy model identification methods resulting in sparse rule bases. *A GAMF Közleményei, Kecskemét, XXII*(ISSN 0230-6182), 109-114.

[14] Johanyák Z.C., K. S. (2014). Prediction of the Network Administration Course Results Based on Fuzzy Inference. *(Eds: G. Bognár, T. Toth) Applied Information Science, Engineering and Technology, Topics in Intelligent Engineering and Informatics, Vol.7*, 19-28. doi:10.1007/978-3-319-01919-2_2

[15] Johanyák, Z. (2012). Clonal Selection Based Parameter Optimization for Sparse Fuzzy Systems. *Applied Computational Intelligence in Engineering and Information Technology Topics in Intelligent Engineering and Informatics, Eds: R.E. Precup, S. Kovács, S. Preitl and E.M. Petriu2012*, 83-94. doi:10.1109/INES.2012.6249861

[16] Nazmi Etik, N. A. (2009). Expert Systems with Applications. *Fuzzy expert system design for operating room air-condition control systems.*, 1-6.

[17] Wang, L.-x. (1997). *A Course in Fuzzy Systems and Control.* Prentice-Hall International, Inc.

[18] Zoltan Krizsan, S. K. (2013). Native Developer Toolbox Library for Sparse Fuzzy Rule Based System. *Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara - Transactions on Electronics and Communications, Vol.58 No.1*.

[19] Chen, Y.-C. C.-M. (2009). Temperature Prediction Based on Fuzzy Clustering and Fuzzy Rules Interpolation Techniques. *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 1-6.

[20] Baranyi P., K. T. (2004, December). A Generalized Concept for Fuzzy Rule Interpolation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 12, No. 6,*, 820-838.

[21] Tsang Chi-Ho, K. S. (2007). Genetic-fuzzy rule mining approach and evaluation of feature selection techniques for anomaly intrusion detection. *Pattern Recognition Society*, 2373–2391.

[22] Shiqian Wu, M. J. (2001, August). A Fast Approach for Automatic Generation of Fuzzy Rules by Generalized Dynamic Fuzzy Neural Networks. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 9, No. 4*, 578-595.

[23] Bazmara Ali, S. D. (2014). Bank Customer Credit Scoring by Using Fuzzy Expert System. I.J. Intelligent Systems and Applications, 11, 29-35. doi:10.5815/ijisa.2014.11.04

[۲۴] نوروزی بیرامی محمدحسین ,م .م .(۲۰۰۹) .پیشگویی مقادیر مفقود شده با استفاده از بهینه‌سازی گروه ذرات مشارکتی، *IFS YAZD*، یزد، ۱-۸.

[۲۵] سید یزدی، ج. (۱۳۸۴)، پایان‌نامه ارشد، استخراج خودکار قوانین فازی قابل توصیف جهت دسته‌بندی و مدل‌سازی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شیراز

[۲۶] زاهدی. مرتضی. (۱۳۸۰). تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن. انتشارات شاهرود

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

Antecedent	مقدمه قانون
Breakpoints	نقاط شکست
Center Average Defuzzifier	فازی زدایی کننده مرکز میانگین
Center of gravity Defuzzifier	فازی زدایی کننده مرکز ثقل
Compactness	فشرده بودن
Completeness	کامل بودن
Conflict Rules	قوانین متداخل
Consequent	بخش نتیجه یا تالی قانون
Crisp	قطعی
Crisp Values	مقادیر قطعی
Debugging	اشکال‌زدایی
Deffuzification	فازی زدایی
Defuzzication Unit	واحد فازی زدایی کننده
Defuzzification Methods	روش‌های فازی زدایی
Desired Output	خروجی مورد انتظار
Fuzzification	فازی سازی
Fuzziness	میزان فازی بودن
Fuzzy Inference Motor	موتور استنتاج فازی
Fuzzy Inference System	سیستم استنتاج فازی
Fuzzy rule interpolation by the conservation of relative fuzziness	روش‌های مبتنی بر حفاظت از فازی بودن نسبی (CRF) برای درون‌یابی قوانین فازی
Fuzzy Rules	قوانین فازی
Fuzzy Rules Interpolation	درون‌یابی قوانین فازی
If-Then	اگر-آنگاه
Improved Multi dimensional a –cut based fuzzy interpolation	بهبود روش درون‌یابی فازی برای فضاهای ورودی چند بعدی (IMUL) جهت درون‌یابی قوانین فازی

Inference	استنتاج
Input Membership Functions	توابع عضویت ورودی
Input variables	متغیرهای ورودی
Jet	هواپیمای جت
KH (Koczy and Hirota)	یکی از روش‌های درون‌یابی قوانین فازی مبتنی بر برش آلفا که توسط Koczy و Hirota تولید شده است
Khowledge Database	پایگاه دانش
Language Variables	متغیرهای زبانی
Mamdani	مدل ممدانی
Matlab	نرم‌افزار متلب
Mean Square Error (MSE)	کمترین مربعات خطا
Membership function	تابع عضویت
Modifed a -Cut based Interpolation	تغییر یافته‌ی درون‌یابی مبتنی بر برش آلفا -α cut (MACI) که توسط Tikk و Baranyi تولید شده است
Observation	مشاهده یک قانون
Output Membership Functions	توابع عضویت خروجی
Real Time	زمان واقعی
Real World Senario	سناریوی دنیای واقعی
Rocket	موشک رهیاب
Rule	قانون
Rule Based Expert Systems	سیستم‌های خبره مبتنی بر قوانین
Triangular	مثلثی شکل
VKK (Vass, Kalmár and Koczy)	یکی از روش‌های درون‌یابی قوانین فازی
Weight	وزن
α-cut level	سطح برش آلفا

Abstract

The Rule Based Expert Systems are used in many different aspects. In Fuzzy Expert Systems, rules are used for Fuzzy inference. In the case of suitable number of rules and Full cover different scenarios System, Fuzzy Expert Systems will be divided into certain and uncertain groups. A certain system, with enough necessary rules can support all the input data and activate at least a rule for each input. For uncertain systems, there is at least one input that will not trigger any rule to inference and present output .

In this research, we study the shortage of rules. To do so, first the shortage of rules in the system will be diagnosed and then the missed rule will be injected into system. Using fuzzy rules interpolation to calculate the least square error[1] method, we try our best rule established candidate to replace the missed rule. In the following the commentary method with concentration on the available Fuzzy Rules Interpolation will be compared .

Keywords:

Fuzzy Rules Interpolation, Extract Missed Rules, Fuzzy Expert systems.

[1] Least Square Error (LSE)

University of Shahrood
Faculty of Computer Engineering

Extract Rules From Uncertain Data In Expert Systems

Alireza Riazati Kesheh

Supervisor:

Dr. Hoda Mashayekhi

September 2015