بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه لرستان

دانشکده علوم پایه

گروه ریاضی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته: ریاضی کاربردی

گرایش: کنترل هوشمند

عنوان :

طراحی سیستم‌های بهینه فازی و مقایسه آن با کنترل کننده‌های PID

استاد راهنما :

دکتر مجید یاراحمدی

استاد مشاور:

دکتر بهمن غضنفری

نگارش :

محمد برشان

بهمن ۱۳۹۱

همه امتیازات این پایان نامه به دانشگاه لرستان تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب در مجالت، کنفرانس ها یا سخرانی ها باید نام دانشگاه لرستان (اساتید یا استاد راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود.در غیر اینصورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است.

به استوارترین تکیه گاهم،دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم،چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را

سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما،

را آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم،باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه

غبار خستگیتان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان.

تقدیم به برادر بزرگم محمدصادق و خواهرانم که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه گاه

من در مواجهه با مشکلات، و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

تقدیم به همکلاسیهای مهربانم که در سایه همیاری و همدلی آنها به این منظور نائل شدم و هیچگاه یادشان از

خاطرم نخواهد رفت.

سپاسگزاری:

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللّه عزّ و جلّ" :

از استاد عزیز و دوست داشتنیم جناب آقای دکتر مجید یاراحمدی که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند و همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛

از استاد صبور و باتقوا، جناب آقای دکتر بهمن غضنفری که زحمت مشاوره این پایان نامه را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛

و از استاد فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر ناصر عباسی که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند؛

کمال تشکر و قدردانی را دارم . باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده

مقدمه ۱

فصل اول:سیستم‌های فازی و شبکه‌های فازی عصبی

۱-۱سیستمهای فازی و شبکه های فازی- عصبی ۴

۱-۱-۱ مفاهیم ۵

۱-۲ مهمترین ترکیبهای روابط فازی ۹

۱-۳ انواع سیستمهای فازی ۱۰

۱-۳-۱ سیستمهای فازی خالص ۱۰

۱-۳-۲ سیستمهای فازی تاکاگی- سوگنو و کانگ (TSK) ۱۱

۱-۳-۳ سیستمهای فازی ممدانی ۱۱

۱-۳-۳-۱ پایگاه قواعد فازی ۱۳

۱-۳-۳-۲ ویژگی مجموعه قواعد ۱۳

۱-۳-۳-۳ موتور استنتاج ۱۴

۱-۳-۳-۴ استنتاج مبتنی بر ترکیب قواعد ۱۴

۱-۳-۳-۵ استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه ۱۴

۱-۳-۳-۶ فازی سازها و غیرفازی سازها ۱۴

۱-۳-۳-۷ انواع فازی ساز ۱۵

۱-۳-۳-۸ انواع غیرفازی ساز ۱۶

۱-۴ شبکه های عصبی ۱۷

۱-۴-۱ کاربردهای شبکه های عصبی ۱۸

۱-۴-۲ اجزای شبکه‌های عصبی ۱۸

۱-۴-۲-۱ انواع تابع انتقال ۱۹

۱-۴-۳ معماری شبکه‌های عصبی ۲۱

۱-۴-۳-۱ شبکه‌های تک لایهای ۲۱

۱-۴-۳-۲ شبکه‌های چند لایهای ۲۲

۱-۵ شبکه های فازی- عصبیANFIS ۲۲

۱-۵-۱ ANFIS چیست؟ ۲۳

۱-۵-۲ ساختارFIS و تنظیم پارامترهای به کمک ANFIS ۲۳

فصل دوم:طراحی سیستم‌های فازی

۲-۱ کنترل غیرخطی ۲۵
۲-۲ رفتار سیستمهای غیرخطی ۲۶
۲-۲-۱ نقطه تعادل چندگانه ۲۷
۲-۲-۲ چرخه حدی ۲۷
۲-۲-۳ آشوب ۲۸
۲-۳ تحلیل سیستمهای غیرخطی ۲۸
۲-۳-۱ تحلیل صفحه فاز ۲۹
۲-۳-۱-۱ پیکره‌های فازی ۲۹
۲-۳-۲ نظریه لیاپانوف ۳۱
۲-۳-۲-۱ مفاهیم ۳۲
۲-۳-۲-۲ قضایای لیاپانوف برای پایداری ۳۳
۲-۳-۲-۳ روش مستقیم لیاپانوف ۳۴
۲-۴ طراحی سیستمهای فازی ۳۵
۲-۴-۱ طراحی سیستمهای فازی با استفاده از روش آموزش گرادیان نزولی ۳۷
۲-۴-۲ طراحی پارامترهای بهینه به وسیله گرادیان نزولی ۴۰
۲-۴-۳ مراحل طراحی سیستمهای فازی با استفاده از روش اموزش گرادیان نزولی ۴۲
۲-۵ کنترل کننده‌های فازی ۴۳
۲-۶ طبقه بندی کنترل کننده‌های صنعتی ۴۴
۲-۶-۱ کنترل کننده‌های *PID* ۴۵
۲-۶-۱-۱ پارامترهای کنترل کننده‌های *PID* ۴۵
۲-۶-۱-۲ روش تنطیم کنترل کننده‌های *PID* ۴۶

فصل سوم: خود خلبان

۳-۱ خودخلبان ۵۰
۳-۲ مفاهیم ۵۱
۳-۴ ساختار موشک BTT ۵۶
۳-۵ معادلات حرکت موشک ۵۷
۳-۵-۱ معادلات انتقالی حرکت موشک ۵۷
۳-۵-۲ معادلات چرخشی حرکت موشک ۶۰
۳-۶ طراحی خودخلبان مسیری ۶۲
۳-۶-۱ مانورهای خودخلبان مسیری ۶۳
۳-۷ طراحی خود خلبان چرخشی ۶۳

۳-۷-۱ پایدار سازی دینامیک های صفر خودخلبان چرخشی..... ۶۶
۳-۷-۲ دستورات هدایت..... ۶۸
۳-۷-۴ مقاوم سازی خودخلبان چرخشی..... ۶۹
۳-۷-۵ مقاوم سازی نسبت به تغییرات در ضرائب آیرودینامیکی..... ۷۰
۳-۷-۶ مقاوم بودن نسبت به تغییرات در شرایط اولیه..... ۷۰
۳-۸ طراحی خود خلبان پیچشی..... ۷۰
۳-۸-۲ تعیین حداقل زمان..... ۷۶
۳-۸-۳ نتایج شبیه سازی..... ۷۸
فصل چهارم:شبیه سازی
۴-۱شبیه سازی..... ۸۱
۴-۲طراحی کنترل کننده های فازی..... ۸۱
۴-۳ طراحی کنترل کننده های PID..... ۸۳
۴-۴ نتایج شبیه سازی با استفاده از روش مانور پیچشی..... ۸۴
۴-۵ نتیجه گیری..... ۸۵
پیوست..... ۸۷
منابع..... ۹۷

چکیده

نام خانوادگی: برشان **نام:** محمد

عنوان: طراحی کنترل کننده های بهینه فازی و مقایسه آن با کنترل کننده های PID

استاد راهنما: دکتر مجید یاراحمدی

درجه تخصصی: استادیار **رشته:** ریاضی کاربردی **گرایش:** کنترل و بهینه سازی هوشمند

استاد مشاور: دکتر بهمن غضنفری

درجه تخصصی: استادیار **رشته:** ریاضی کاربردی **گرایش:** آنالیز عددی

محل تحصیل: دانشگاه لرستان **دانشکده:** علوم پایه **گروه:** ریاضی

درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** ریاضی کاربردی

تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۱ **تعداد صفحات:۱۱۳**

کلید واژه: منطق فازی،کنترل کننده های فازی، شبکه های فازی-عصبی، موشک، خودخلبان

چکیده:

یکی از مسایل مهم در طراحی کنترل‌کننده‌ها برای سیستم‌های غیرخطی وجود نامعینی‌ها ساختاری و پارامتری و نفوذ اختلالات و اغتشاشات در اینگونه سیستم‌ها است. به منظور غلبه بر نامعینی‌ها ،اختلالات و اغتشاشات طراحی سیستم‌های کنترل بهینه از مسایل مهم و پرکاربرد در سیستم های واقعی می باشد. در این پایان نامه ابتدا به بررسی منطق فازی، معرفی سیستم‌های فازی و کنترل‌کننده هایPID پرداخته و سیستم‌های فازی با پارامترهای بهینه را طراحی کرده‌ایم. سپس آنها را به عنوان کنترل‌کننده غیرخطی روی سیستم خودخلبان پیچشی پیاده ساخته و نتایج شبیه سازی را ارائه داده‌ایم.

مقدمه

سیستم های غیرخطی دارای ساختاری به صورت زیر می باشند:

$$\dot{x} = f(t, u, x)$$

$$U = g(t, x)$$

وجود چندین نقطه تعادل و داشتن چرخه های حدی در سیستم های غیر خطی تحلیل و کنترل این سیستم ها را به مراتب سخت تر از سیستم های خطی کرده است. بنابراین بکار بردن روشهای تحلیلی جهت طراحی سیستم های کنترل مستلزم در دست داشتن مجموعه ای از معادلات برای یک مدل ریاضی دقیق از سیستم می باشد بدست آوردن چنین مدلی به خصوص در سیستم های پیچیده دارای رفتار غیر خطی و یا سیستم های که اطلاعات کافی درباره ارتباط ورودی- خروجی آنها وجود ندارد بسیار مشکل است. از طرف دیگر وجود نامعینی های پارامتری و ساختاری روشهای طراحی تحلیلی را مشکل یا در بسیاری از موارد غیرممکن می کند لذا جهت رفع این مشکلات استفاده از روشهای کنترلی که نسبت به نامعینی های پارامتری و ساختاری حساس نبوده و پاسخ مطلوب سیستم را حفظ نمایند مورد نیاز است.یکی از این روشها استفاده از کنترل کننده‌های هوشمند مانند کنترل کننده های فازی و کنترل کننده های فازی- عصبی می باشد.

واژه" فازی" در فرهنگ لغت آکسفورد بصورت "مبهم،گنگ،نادقیق،گیج، مغشوش، درهم و نامشخص" تعریف شده‌است. سیستم‌های فازی، سیستم‌های هستند با تعریف دقیق. کنترل فازی نیز نوع خاصی از کنترل غیرخطی می‌باشد، که به طور واضح تعریف می‌گردد. این مطلب مشابه سیستم‌های خطی و کنترل‌خطی می‌باشد، که واژه "خطی" یک صفت فنی بوده که حالت و وضعیت سیستم کنترل را مشخص می‌کند. چنین چیزی در مورد واژه "فازی" نیز وجود دارد. اساسا گرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیرقطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند، با این حال خود روش فازی یک روش دقیق می‌باشد. در این پایان نامه دو نوع توجیه برای روش سیستم‌های فازی وجود دارد:

۱-دنیای واقعی ما بسیار پیچیده‌تر از آن است که بتوان یک توصیف و تعریف دقیق برای آن بدست آورد، بنابراین باید یک توصیف تقریبی یا همان فازی که قابل قبول و تجزیه و تحلیل باشد،بایک مدل معرفی شود.

۲-با حرکت ما بسوی عصراطلاعات، دانش و معرفت بشری بسیار اهمیت پیدا می‌کند. بنابراین ما به فرضیه‌ای نیاز داریم که بتواند دانش بشری را به شکلی سیستماتیک فرموله کرده و آنرا به همراه سایر مدل‌های ریاضی در سیستم‌های مهندسی قرار دهد.

توجیه اول گرچه درست است، با این حال طبیعت واحدی را برای روش سیستم‌های فازی مشخص نمی‌کند. در حقیقت تمامی نظریه‌های علوم مهندسی، دنیای واقعی را به شکلی تقریبی، توصیف می‌کنند. در عالم واقعی تمامی سیستم‌ها بصورت غیرخطی می‌باشند ولی تقریبا تمامی مطالعات بر روی سیستم‌های خطی انجام می‌گیرد. یک روش مهندسی خوب از یک طرف باید بتواند مشخصه‌های اصلی و کلیدی دنیای واقعی را توصیف کرده و از طرف دیگر قابل تجزیه و تحلیل ریاضی باشد. بنابراین از این جنبه روش فازی تفاوتی با سایر روش‌های علوم مهندسی ندارد. توجیه دوم مشخصه واحدی از سیستم‌های فازی را توصیف کرده و روش سیستم‌های فازی را بعنوان یک قاعده کلی و یک روش مهندسی خوب در نظر می‌گیرد که قادر است از تمامی اطلاعات موجود به نحوی موثری استفاده کند. در سیستم‌های عملی اطلاعات مهم از دو منبع سرچشمه می‌گیرند. یکی از منابع افراد خبره می‌باشند که دانش و آگاهی آنها را در مورد سیستم با زبان طبیعی تعریف می‌کنند. منبع دیگر اندازه‌گیری‌هاو مدل‌های ریاضی هستند که از قواعد فیزیکی مشتق شده‌اند. بنابراین یک موضوع مهم ترکیب این دو نوع اطلاعات در طراحی سیستم‌ها است. برای انجام این ترکیب موضوع کلیدی این است که چگونه می‌توان دانش بشری را در چهارچوبی مشابه مدل‌های ریاضی فرموله کرد. به عبارت دیگر سوال اساسی این است که چگونه می‌توان دانش بشری را به یک فرمول ریاضی تبدیل کرد. اساسا آنچه که یک سیستم فازی انجام می‌دهد، همین تبدیل است.

فصل اول:

سیستم‌های فازی و شبکه‌های فازی عصبی

۱-۱سیستم‌های فازی و شبکه‌های فازی- عصبی

منطق فازی[1] برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط دکتر لطفی‌زاده[2]، استاد علوم کامپیوترو الکترونیک دانشگاه برکلی[3] کالیفرنیا ابداع شد. مقاله کلاسیک پرفسور لطفی‌زاده درباره مجموعه فازی[4] که در سال ۱۹۶۵ به چاپ رسید، سرآغاز جهتی نوین در علوم و مهندسی سیستم و کامپیوتر بود[۱]. پس از آن پرفسور لطفی‌زاده به پژوهش‌های خود در زمینه مجموعه فازی ادامه داد، تا آنکه در سال ۱۹۷۳ طی یک مقاله کلاسیک دیگر تحت عنوان«شرحی بر دیدی نو در تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده و فرآیندهای تصمیم‌گیری» مفهوم استفاده از متغیرهای زبانی را در سیستم‌های حافظه و کنترل مطرح کرد. این مقاله اساس تکنولوژی کنترل بر مبنای منطق فازی است که در آینده اثرات عمیق در طراحی سیستم‌های کنترل هوشمند خواهد داشت[۱].

اگر چه منطق فازی کارای خیلی وسیع‌تر از منطق متداول دارد، ولی پرفسور لطفی‌زاده معتقد است که منطق فازی اکسیر و نوش دارو نیست. وی می‌گوید«کارهای زیادی هست که انسان می‌تواند به آسانی انجام دهد در حالی که کامپیوترها و سیستم‌های منطق قادر به انجام آن‌ها نیستند»[۲]. منطق فازی یک فرامجموعه از منطق است که بر مفهوم درستی نسبی دلالت دارد. منطق کلاسیک هرچیزی را بر اساس یک سیستم دوتایی نشان می‌دهد(درست یا غلط، ۰ یا ۱، سیاه یا سفید) ، ولی منطق فازی درستی هر چیز را با یک عدد که مقدار آن بین صفر و یک است نشان می‌دهد. مثلاً اگر رنگ سیاه را عدد صفر و رنگ سفید را عدد۱ نشان دهیم، آنگاه رنگ خاکستری عددی نزدیک به صفر خواهد بود. در سال۱۹۶۵، دکتر لطفی‌زاده نظریه سیستم‌های فازی را معرفی کرد، در فضایی که دانشمندان علوم مهندسی به دنبال روش‌های ریاضی برای شکست دادن مسایل دشوارتر بودند، نظریه فازی به گونه‌ای دیگر از مدل سازی اقدام کرد[۲].

1- Fuzzy Logic
2- Dr. Lotfizadeh
3- Berkeley
4- Fuzzy Set

منطق فازی معتقد است، ابهام در ماهیت علم می‌باشد. بر خلاف دیگران که معتقدند باید تقریب‌ها را دقیق‌تر کرد تا بهره‌وری افزایش یابد، لطفی‌زاده معتقد است که باید بدنبال ساختن مدل‌هایی بود که ابهام را به عنوان بخشی از سیستم مدل کند.

۱-۱-۱ مفاهیم

تعریف۱-۱: اگر U مجموعهٔ جهانی[1] باشد، یک مجموعهٔ کلاسیک مانند A در فضای جهانی U را می‌توان با سه روش زیر معرفی کرد:

۱) با فهرست کردن تمام اعضای مجموعه A.

۲) با مشخص کردن ویژگی‌هایی که باید توسط اعضای مجموعه A ارضاء گردد.

۳) معرفی یک تابع تعلق دو مقداری(۱ و ۰) که با $\mu_A(x)$ نشان‌داده می‌شود به نحوی که:

$$\mu_A(x)=\begin{cases}1 & x\in A\\ 0 & x\notin A\end{cases} \qquad (۱-۱)$$

تعریف۱-۲ : مجموعه فازی Aدر فضای جهانی U به وسیله تابع تعلق[2] $\mu_A(x)$ که مقادیری در بازه [۱ و ۰] اختیار می‌کند، تعریف می‌شود. بنابراین یک مجموعه فازی تعمیم یک مجموعه کلاسیک است، که اجازه می‌دهد تابع تعلق هر مقداری را در بازه [۱ و ۰] اختیار کند[۳].

تعریف۱-۳ : نقطه تقاطع[3] در یک مجموعه فازی نقطه‌ای در فضای جهانی U است، که در آن مقدار تایع تعلق برابر ۰/۵می‌باشد.

تعریف۱-۴ : در یک مجموعه فازی بزرگترین مقدار تابع تعلق را، ارتفاع[4] مجموعه فازی می‌نامند.

تعریف ۱-۵ :در مجموعه فازی A برش آلفای[5] A_α، یک مجموعه غیرفازی است، که شامل تمام عضوهای U می‌باشد، بطوری که مقادیر تعلق بزرگتر یا مساوی α دارند[۳].

1- Universal Set
2- Membership Funtion
3- Crossover Point
4- Height
5- α - Cut

$$A_\alpha = \{x \in u | \mu_A(x) \geq \alpha\} \qquad (۲-۱)$$

تعریف۱-۶ : دو مجموعه فازی Aو B معادل[1] هستند، اگر و تنها اگر به ازای تمام مقادیر $x \in U, \mu_A(x) = \mu_B(x)$.

تعریف۱-۷ : تکیه‌گاه[2] مجموعهٔ فازی A در فضای جهانی U، یک مجموعهٔ غیرفازی است، که شامل تمام عضوهای غیرصفر U می‌شود.

$$Supp(A) = \{x \in u | \mu_A(x) > 0\} \qquad (۳-۱)$$

تعریف۱-۸: مجموعه فازی که تکیه‌گاه آن عضوی نداشته باشد، را مجموعه فازی تهی می‌نامند.

تعریف۱-۹: اگر در یک مجموعه فازی مقدار میانگین تمام نقاطی که تابع تعلق مجموعه فازی در آن نقاط به حداکثر مقدار خود می‌رسد، محدود باشد در آن صورت این مقدار میانگین را مرکز[3] مجموعه فازی می‌نامند، اگر مقدار میانگین مثبت بی‌نهایت(منفی بی‌نهایت) شود، در آن صورت کوچکترین(بزرگترین) نقطه‌ای که در آن تابع تعلق به حداکثر مقدار خود می‌رسد به عنوان مرکز مجموعه فازی در نظر گرفته می‌شود[۳ و ۴].

تعریف۱-۱۰: مجموعه فازی A زیر مجموعه، مجموعه فازی B است، اگر و تنها اگر برای تمامی مقادیر $x \in U$ رابطهٔ $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ برقرار باشد.

تعریف۱-۱۱: مکمل[4] مجموعه فازی A مجموعه فازی $\overline{A}$ است، که تابع تعلق آن به صورت مقابل تعریف می‌شود:

$$\mu_{\overline{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \qquad (۴-۱)$$

تعریف۱-۱۲: اجتماع[5] دو مجموعه فازی Aو B، یک مجموعه فازی است، که تابع تعلق آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

1- Equal
2- Support
3-Senter
4- Complement
5- Union

$$\mu_{A\cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \qquad (۵-۱)$$

تعریف۱-۱۳: اشتراک[1] دو مجموعه فازی Aو B، یک مجموعه فازی است، که تابع تعلق آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{A\cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \qquad (۶-۱)$$

تعریف۱-۱۴: نگاشت $C:[0,1]\to[0,1]$ تابع تعلق مجموعه فازی A را به تابع مکمل آن می‌نگارد یعنی:

$$C[\mu_A(x)] = \mu_{\bar{A}}(x) \qquad (۷-۱)$$

نگاشت C یک مکمل فازی[2] نامیده می‌شود، هرگاه شرایط زیر را ارضاء کند[۱].

۱) $c(1)=0, c(0)=1$

۲) برای تمام مقادیر $a,b\in[0,1]$ اگر $a<b$ آنگاه $c(a)\geq c(b)$

تعریف۱-۱۵: نگاشت $S:[0,1]\times[0,1]\to[0,1]$ تابع تعلق در مجموعه فازی A و B، را به تابع تعلق اجتماعی A و B می‌نگارد یعنی:

$$S[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A\cup B}(x) \qquad (۸-۱)$$

نگاشت فوق یک s–نرم[3] نامیده می‌شود، هرگاه شرایط زیر را ارضاء کند[۱].

۱) $s(0,a)=s(a,0)=a \quad , \quad s(1,1)=1$

۲) $s(a,b)=s(b,a)$

۳) اگر $a\leq a'$ و $b\leq b'$ آنگاه $s(a,b)\leq s(a',b')$

۴) $s(s(a,b),c)=s(a,s(b,c))$

تعریف۱-۱۶: نگاشت $t:[0,1]\times[0,1]\to[0,1]$ تابع تعلق مجموعه‌های فازی Aو B را به تابع تعلق اشتراک Aو B می‌نگارد. یعنی:

$$t[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A\cap B}(x) \qquad (۹-۱)$$

1- Intersection
2- Fuzzy Complement
3- S- Norm

نگاشت فوق یک t–نرم[1] نامیده می‌شود، هرگاه شرایط زیر را ارضاء کند:

۱) $t(a,1)=t(1,a)=a \quad , \quad t(0,0)=1$

۲) $t(a,b)=t(b,a)$

۳) اگر $a\le a'$ و $b\le b'$ آنگاه $t(a,b)\le t(a',b')$

۴) $t(t(a,b),c)=t(a,t(b,c))$

تعریف۱-۱۷: اگر یک متغیر بتواند واژهای از زبان طبیعی به عنوان مقدار خود بپذیرد، یک متغیر زبانی[2] نامیده می‌شود. در حالت کلی یک متغیر زبانی به وسیله چهار پارامتر (X,T,U,M) مشخص می‌گردد که:

۱) X نام متغیر زبانی است.

۲) T مجموعه مقادیر زبانی است که X اختیار می‌کند.

۳) Uدامنه فیزیکی واقعی است، که در آن متغیر زبانی X مقادیر عددی خود را اختیار می‌کند.

۴) M یک قاعده لغوی است، که هر مقدار زبانی در T را به یک مجموعه فازی در U مرتبط می‌سازد.

تعریف۱-۱۸: در یک سیستم فازی گزاره‌های فازی ساده به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$x \quad is \quad A$$

که x یک متغیر زبانی و A مقدار زبانی متغیر x است. به بیان دیگر A یک مجموعه فازی تعریف شده در دامنه تعریف x است.

تعریف۱-۱۹: در یک سیستم فازی گزاره‌های فازی مرکب، از ترکیب گزاره‌های فازی ساده با استفاده از عملگرهای منطقی"و"، "یا"، "نه" به وجود می‌آیند. که به ترتیب نشان‌دهنده اشتراک، اجتماع و مکمل فازی می‌باشند.

1- T- Norm
2- Linguistic Variable

تعریف۱-۲۰: قاعده اگر- آنگاه فازی یک گزاره شرطی است، که به صورت زیر تعریف می‌شود:

اگر $< FP_1 >$ آنگاه $< FP_2 >$ که FP_2, FP_1 گزاره‌های فازی می‌باشند.

تعریف۱-۲۱: یک رابطه فازی یک مجموعه فازی است، که در فضای حاصل ضرب بـرداری مجموعـه-های قطعی[1] $U_n,...,U_2,U_1$ به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Q = \left\{ \left((u_1,u_2,...,u_n), \mu_Q(u_1,u_2,...,u_n) \right) \square (u_1,u_2,...,u_n) \in U_1 \times U_2 \times .... \times U_n \right\} \qquad (10\text{-}۱)$$

تعریف۱-۲۲: فرض‌کنید $Q(V,W), P(U,V)$ دو رابطهٔ فازی باشند، ترکیب آنها با نماد POQ نـشان داده می‌شود، که به صورت یک رابطهٔ فازی در $U \times W$ با تابع تعلق زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{POQ}(x,z) = \max t \left[\mu_p(x,y), \mu_Q(y,z) \right] \qquad (۱۱\text{-}۱)$$

۱-۲ مهمترین ترکیب‌های روابط فازی[2]

چون روابط فازی با استفاده از $t-$نرم‌ها تعریف می‌شوند، از طرفی می‌توان انواع مختلفی از $t-$ نرم‌ها را برای یک رابطهٔ فازی معرفی کرد، بنابراین به ازای هر $t-$ نرم می‌توان ترکیـب خاصـی بدسـت آورد. از مهم‌ترین ترکیب‌های مورد استفاده ترکیب مـاکزیمم- مینـیمم[3] و ترکیـب مـاکزیمم- حاصـل‌ضـرب[4] می‌باشد، که به صورت زیر تعریف می‌گردند[۷].

تعریف۱-۲۳: ترکیب ماکزیمم- مینیمم روابط فازی $Q(V,W), P(U,V)$ یک رابطه فازی POQ در $U \times W$ بوده، که به وسیله تابع تعلق زیر تعریف می‌گردد:

$$\mu_{POQ}(x,z) = \max_{y \in V} \min \left[\mu_P(x,y), \mu_Q(y,z) \right] \qquad (۱۲\text{-}۱)$$

که $(x,z) \in U \times W$

1- Crisp Set
2- Composition Of Fuzzy Relation
3- Max-Min Composition
4- Max-Product Composition

تعریف ۱-۲۴: ترکیب ماکزیمم- حاصل‌ضرب روابط فازی $Q(V,W),P(U,V)$ یک رابطه فازی POQ در $U\times W$ بوده، که به وسیله تابع تعلق زیر تعریف می‌گردد:

$$\mu_{POQ}(x,y)=\max_{y\in V}\left[\mu_P(x,y)*\mu_Q(y,z)\right] \qquad (۱۳-۱)$$

۱-۳ انواع سیستم‌های فازی

معمولاً سیستم‌های فازی بر سه دسته تقسیم می‌شوند:

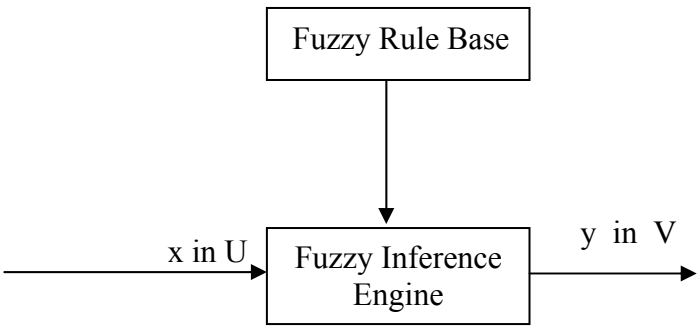
۱- سیستم‌های فازی خالص

۲- سیستم‌های فازی تاکاگی- سوگنو و کانگ[1] (TSK)

۳- سیستم‌های فازی ممدانی

۱-۳-۱ سیستم‌های فازی خالص

ساختار اصلی یک سیستم فازی خالص در شکل۱-۱ نشان داده شده است. پایگاه قواعد فازی مجموعه‌ای از قواعد اگر- آنگاه فازی را نشان می‌دهد، موتور استنتاج فازی[2] این قواعد را به یک نگاشت از مجموعه‌های فازی در فضای ورودی به مجموعه‌های فازی ترکیب می‌کند[۵]. مشکل اصلی سیستم‌های فازی خالص این است که ورودی و خروجی آن مجموعه‌های فازی می‌باشند. در حالی که در سیستم‌های مهندسی، ورودی و خروجی متغیرهایی با مقادیر حقیقی می‌باشند. برای حل این مشکل، تاکاگی- سوگنو و کانگ نوع دیگری از سیستم‌های فازی معرفی کردند که در ادامه معرفی می‌شوند.



شکل۱-۱ ساختار اصلی سیستم‌های فازی خالص

1- Takagi- Sugeno- Kang
2- Fuzzy Infernce Engine