به نام یگانه هستی بخش

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی برق-کنترل

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق-کنترل

عنوان

طراحی کنترلرهای فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبود یافته

اساتید راهنما

دکتر محمدعلی بادامچی‌زاده- دکتر سهراب خانمحمدی

استاد مشاور

دکتر امیر ریخته‌گر غیاثی

نگارش

مهسا حسین‌پور

بهمن ۱۳۹۰

تقدیر و تشکر

شکر وسپاس پروردگار عالم را که موفقم گرداند تا در عرصه علم و دانش، پله‌های سعادت را طی کنم و در این راه خطیر و پر فراز ونشیب بزرگوارانی خالصانه و دلسوزانه تاثیر گذار بودند که ابراز قدردانی از آنان را بر خود واجب می‌دانم.

وجود پر مهر پدری دلسوز و مادری مهربان که اصلی‌ترین مشوق‌های من در این راه بودند و نیز برادر عزیزم که همواره حامی من بوده است، از این بزرگواران بسیار تشکر و قدردانی می‌کنم.

بهترین تشکراتم را تقدیم استاد گرانقدر، پرتلاش و دلسوزم، جناب آقای دکتر محمدعلی بادامچی‌زاده می‌نمایم که همواره با صبر و حوصله راهنمایی کرده و پشتیبان و راه‌گشایم بودند.

از استاد بزرگوارم، جناب آقای دکتر سهراب خانمحمدی که سخاوتمندانه و بزرگمنشانه راهنمایی‌ام کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از استاد مشاور گرانقدر، جناب آقای دکتر امیر ریخته‌گر غیاثی به خاطر راهنمایی‌شان کمال تشکر را دارم.

همچنین از جناب آقای دکتر محمد اسمعیل اکبری به خاطر همراهی و کمک‌های سخاوتمندانه‌شان در زمینه ربات‌های انعطاف‌پذیر و پیاده سازی نتایج بر روی ربات موجود در آزمایشگاه دانشگاه تبریز تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از تمامی دوستان و عزیزانی که با صبر وحوصله مرا در تکمیل این پایان‌نامه یاری کردند صمیمانه سپاس‌گزارم.

نام خانوادگی دانشجو: حسین‌پور **نام:** مهسا

عنوان رساله: طراحی کنترلرهای فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبود یافته

اساتید راهنما: دکتر محمدعلی بادامچی‌زاده–دکتر سهراب خانمحمدی

استاد مشاور: دکتر امیر ریخته‌گر غیاثی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی برق **گرایش:** کنترل **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** بهمن ۱۳۹۰ **تعداد صفحه:** ۸۲

کلیدواژه‌ها: مدل تاکاجی–سوگنو، متد تاگوچی، آرایه‌های متعامد، نسبت سیگنال به نویز، الگوریتم ژنتیک هیبرید–تاگوچی

چکیده:

آنالیز رفتار سیستم در بدست آوردن مدل مناسبی از سیستم به ویژه در خصوص سیستم‌های غیرخطی می‌باشد. رایج‌ترین روش بدست آوردن مدل سیستم، استفاده از قوانین فیزیکی حاکم بر آن است. مدل فازی تاکاجی–سوگنو در سالیان اخیر به عنوان روش موفقی برای کنترل سیستم‌های غیرخطی معرفی شده است. بر خلاف روش‌های مرسوم که در آن‌ها، مدل سیستم برای توصیف رفتار کلی سیستم کنترل غیرخطی به کار می‌رود، در مدل تاکاجی–سوگنو از مدلی استفاده می‌شود که در آن هر یک از زیرمدل‌ها (که اغلب مدل‌های خطی‌اند) توصیفی از رفتار سیستم کنترل غیرخطی را ارائه می‌دهند، که این مدل ارائه شده، بر اساس المان‌های غیرخطی سیستم کنترلی می‌باشد. در این مدل، هر یک از قوانین فازی دارای دینامیک خطی بوده و مدل فازی کلی در واقع ترکیب همه این قوانین است. در این پایان‌نامه، طراحی کنترلر حالت سیستم غیرخطی با استفاده از مدل تاکاجی–سوگنو انجام شده است، که برای بهبود پارامترهای کنترلر از الگوریتم ژنتیک هیبرید–تاگوچی استفاده شده است. بکارگیری آرایه‌های متعامد سرعت همگرایی الگوریتم را بهبود بخشیده و استفاده از نسبت سیگنال به نویز پاسخ‌های مناسب‌تری را باعث شده است و در عین حال نشان داده شده است که الگوریتم ژنتیک هیبرید–تاگوچی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک پاسخ بهتر و به مراتب مقاوم‌تری را نتیجه می‌دهد.

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱

۱-۱- طرح موضوع ۲

۱-۲- اهداف پژوهش ۴

۱-۳- ساختار پایان‌نامه ۴

۲- پیشینه پژوهش ۶

۲-۱- سیستم‌های فازی ۷

۲-۱-۱- تاریخچه ۷

۲-۲- الگوریتم ژنتیک ۹

۲-۳- بازوی انعطاف‌پذیر ۱۰

۲-۳-۱- کنترل بازوی انعطاف‌پذیر ۱۲

۲-۴- پیشینه پژوهش ۱۳

۳- مدل‌بندی مسائل ۱۶

۳-۱- سیستم‌های فازی تاکاجی-سوگنو ۱۷

۳-۱-۱- سیستم‌های فازی تاکاجی-سوگنودر سیستم‌هایی به فرم فضای حالت ۱۸

۳-۱-۱-۱- سیستم‌های پیوسته در زمان ۱۸

۳-۱-۱-۲- سیستم‌های گسسته در زمان ۱۹

۳-۱-۲- سیستم‌های تاکاجی-سوگنو زمان گسسته با معادلات تفاضلی ورودی-خروجی ۲۰

۳-۱-۳- کنترل توزیع موازی در سیستم‌های فازی تاکاجی-سوگنو ۲۰

۳-۱-۳-۱- کنترل توزیع موازی در سیستم‌های پیوسته در زمان ۲۱

۳-۱-۳-۲- کنترل توزیع موازی در سیستم‌های گسسته در زمان ۲۲

۳-۱-۴- تعقیب کنترل توزیع موازی..... ۲۳
۳-۱-۵- کنترل مرجع مدل توزیع موازی..... ۲۳
۳-۱-۶- رویکرد طراحی بر اساس اصل نامساوی ماتریسی خطی..... ۲۴
۳-۱-۷- بدست آوردن مدل فازی تاکاجی-سوگنو سیستم..... ۲۶
۳-۲- الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی..... ۳۱
۳-۲-۱- متد تاگوچی..... ۳۱
۳-۲-۲- عملکرد آرایه‌های متعامد و نسبت سیگنال به نویز در سیستم‌های چند متغیره.... ۳۱
۳-۲-۳- عملکرد آرایه‌های متعامد..... ۳۲
۳-۲-۴- عملکرد نسبت سیگنال به نویز..... ۳۶
۳-۲-۴-۱- تبدیل نتایج به نسبت سیگنال به نویز..... ۳۷
۳-۲-۴-۲- مزایای سیگنال به نویز در مقایسه با روش میانگین..... ۳۸
۳-۲-۵- الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی..... ۴۱
۳-۲-۵-۱- تعریف مساله بهینه‌سازی..... ۴۲
۳-۲-۵-۲- تولید جمعیت اولیه..... ۴۲
۳-۲-۵-۳- تولید فرزندان متمایز به کمک عملگر تقاطعی..... ۴۳
۳-۲-۵-۴- عملگر جهش..... ۴۴
۳-۲-۵-۵- تولید فرزندان بهتر به کمک متد تاگوچی..... ۴۴
۳-۲-۵-۶- مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی..... ۴۷
۳-۲-۵-۷- توابع هزینه کوادراتیک..... ۵۱
۳-۳- ربات با مفصل انعطاف‌پذیر و مشخصات آن..... ۵۲
۳-۳-۱- مدل ربات با مفصل انعطاف‌پذیر..... ۵۲

۳-۳-۲- مدل عملی ربات دانشگاه تبریز ۵۵
۴- تجزیه و تحلیل ۵۷
۴-۱- بدست آوردن مدل تاکاجی-سوگنو سیستم ۵۸
۴-۲- بهینه‌سازی پارامترها به کمک الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی ۶۵
۴-۳- نتایج حاصله ۶۵
۵- نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی ۷۷
۵-۱- نتیجه‌گیری ۷۸
۵-۲- تحقیقات آتی ۷۸
۶- منابع ۷۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱. طبقه بندی نظریه فازی ۸

شکل ۲-۲. ربات با دوعضو انعطاف‌پذیر ۱۲

شکل ۲-۳. ربات با دوعضو صلب ۱۲

شکل ۳-۱. سیستم استنتاج فازی ۲۶

شکل ۳-۲. مدل طراحی کنترل فازی ۲۷

شکل ۳-۳. (الف) بخش غیرخطی عمومی (ب) بخش غیرخطی محلی ۲۸

شکل ۳-۴. فلوچارت متد تاگوچی [۳۵] ۳۱

شکل ۳-۵. گراف خطی L_4 ..... ۳۶

شکل ۳-۶. گراف خطی L_8 ..... ۳۶

شکل ۳-۷. مقایسه دو توزیع A و B ۳۹

شکل ۳-۸. مراحل الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی ۴۹

شکل ۳-۹. ادامه شکل ۳-۸ ..... ۵۰

شکل ۳-۱۰. مدل ساده‌ای از یک ربات با مفصل انعطاف‌پذیر [۴۲] ۵۳

شکل ۳-۱۱. ربات موجود در آزمایشگاه ابزار دقیق دانشگاه تبریز ۵۶

شکل ۴-۱. $\sin(x_1(t))$ و نواحی آن ۶۰

شکل ۴-۲. توابع عضویت $M_1(z_1(t))$ و $M_2(z_1(t))$ ۶۰

شکل ۴-۳. توابع عضویت $N_1(z_2(t))$ و $N_2(z_2(t))$ ۶۱

شکل ۴-۴. توابع عضویت $S_1(z_3(t))$ و $S_2(z_3(t))$ ۶۱

شکل ۴-۵. بلوک شبیه‌سازی شده ربات ۶۵

شکل ۴-۶. پاسخ حالت‌های سیستم ۶۶

شکل ۴-۷. هزینه بدست آمده از الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی ۶۷

شکل ۴-۸. پاسخ حالت‌های سیستم ۶۸

شکل ۴-۹. هزینه بدست آمده از الگوریتم ۶۸

شکل ۴-۱۰. پاسخ حالت‌های سیستم..... ۶۹
شکل ۴-۱۱. پاسخ حالت‌های سیستم..... ۷۰
شکل ۴-۱۲. پاسخ سیستم با ورودی مرجع ۷۰
شکل ۴-۱۳. پاسخ سیستم با ورودی مرجع ۷۱
شکل ۴-۱۴. (الف) نتایج شبیه‌سازی (ب) نتایج عملی ربات ۷۲
شکل ۴-۱۵. (الف) ولتاژ ورودی موتور (ب) جریان آرمیچر..... ۷۲
شکل ۴-۱۶. (الف) نتایج شبیه‌سازی (ب) نتایج عملی ربات ۷۳
شکل ۴-۱۷. (الف) نتایج شبیه‌سازی (ب) نتایج عملی ربات ۷۳
شکل ۴-۱۸. (الف) ولتاژ ورودی موتور (ب) جریان آرمیچر..... ۷۴
شکل ۴-۱۹. (الف). نتایج شبیه‌سازی (ب) نتایج عملی ربات ۷۵
شکل ۴-۲۰. (الف) ولتاژ ورودی موتور (ب) جریان آرمیچر..... ۷۵
شکل ۴-۲۱. (الف). نتایج شبیه‌سازی (ب) نتایج عملی ربات ۷۶
شکل ۴-۲۲. (الف) ولتاژ ورودی موتور (ب) جریان آرمیچر..... ۷۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱. آرایه‌های متعامد $L_8\left(2^7\right)$ ۳۳
جدول ۳-۲. . آرایه‌های متعامد $L_4\left(2^3\right)$ ۳۴
جدول ۳-۳. مرسوم‌ترین آرایه‌های متعامد..... ۳۴
جدول ۳-۴. آرایه‌های متعامد $L_{16}\left(2^{15}\right)$ ۳۵
جدول ۳-۵. نسبت سیگنال به نویز سه فاکتور کیفیت ۴۱
جدول ۳-۶. پارامترهای مثال..... ۴۶
جدول ۳-۷. تولید کروموزم‌های بهتر با بکارگیری متد تاگوچی..... ۴۷
جدول ۳-۸. مشخصات مکانیکی و الکتریکی ربات ۵۵

۱- مقدمه

۱-۱- طرح موضوع

استفاده از قوانین فیزیکی حاکم بر سیستم‌ها از روش‌های مرسوم برای بدست آوردن مدل ریاضی سیستم‌ها می‌باشد. برای مدل‌سازی نیاز به روابط فیزیکی سیستم می‌باشد و این امر می‌تواند پرهزینه، زمان‌بر و حتی غیرممکن باشد. چرا که بسیاری از سیستم‌های صنعتی رفتار غیرخطی متغیر با زمان دارند و یا اطلاعات جامع و تفضیلی از سیستم برای مدل‌سازی آن با روابط فیزیکی وجود ندارد. حتی در بعضی از سیستم‌ها وجود دینامیک مدل نشده و عوامل متعدد دیگر، مدل‌سازی با استفاده از روابط فیزیکی را با دشواری‌های زیادی روبرو می‌کند و در نتیجه کنترل آن نیز بسیار دشوار خواهد بود. بنابراین استفاده از سیستم‌های فازی برای توصیف سیستم و کنترل آن یک روش کارآمد به حساب می‌آید. سیستم‌های فازی در طیف وسیعی از علوم و فنون کاربرد پیدا کرده‌اند از کنترل، ارتباطات، ساخت مدارهای مجتمع و سیستم‌های خبره گرفته تا بازرگانی، پزشکی و دانش اجتماعی. با این حال یکی از مهمترین کاربردهای آن، حل مسائل و مشکلات کنترلی می‌باشد. از نقطه نظر عملی، عمده‌ترین کاربردهای تئوری فازی بر روی کنترل فازی متمرکز شده است. منطق فازی تعمیمی از منطق دو ارزشی متداول است که در منطق دودویی جایی برای واژه‌هایی همچون "کم"، "زیاد"، "اندکی" و "بسیار" که پایه‌های اندیشه و استدلال‌های معمولی انسان را تشکیل می‌دهند، وجود ندارد. روش پروفسور لطفی‌زاده برمبنای بکارگیری همین عبارات زبانی است و در آن توابع عضویت در تعیین درجات عضویت نقشی اساسی ایفا می‌کنند. منطق فازی عبارتست از "استدلال با مجموعه‌های فازی". بطور کلی برای برقراری ارتباط با محیط اطراف ، انسان از یک "زبان طبیعی" استفاده می‌کند و از آنجا که قدرت تفکر همواره فراتر از توان پیاده‌سازی آن با یک زبان است برای بسیاری از مفاهیم ذهنی معادل دقیقی در دامنه لغات زبان وجود نداشته و تعابیر مختلفی برای فرد از این عبارت قابل تعریف است که لزوما با شخص دیگر در مکان دیگر برابر نیست .این همان چیزی است که پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۷۳ تحت عنوان متغیرهای زبانی به آن اشاره کرد، متغیرهای زبانی متغیرهایی هستند که عدد نیستند بلکه مقادیر آن‌ها حروف و لغات هستند و با مدل‌سازی مجموعه‌ای برای متغیرهای زبانی (در واقع تئوری مجموعه‌های فازی) سعی در توصیف آن نموده و به هرکدام از متغیرهای زبانی، یک درجه عضویت"(μ)"نسبت داده می‌شود که بیان کننده میزان تعلق آن عضو به مجموعه است. مدل دینامیکی فازی تاکاجی-سوگنو برای سیستم‌های زمان پیوسته بوسیله قواعد "اگر و آنگاه" که روابط خطی ورودی-خروجی را در سیستم‌های غیرخطی نشان می‌دهد، بیان می‌کند و طراحی کنترلر در مدل تاکاجی-سوگنو

صورت می‌گیرد. در عین حال می‌توان پارامترهای بدست آمده را نیز بهینه کرد که برای این کار عموماً از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود.

الگوریتم ژنتیک تکنیک جستجویی برای یافتن راه‌حل تقریبی بهینه‌سازی است که نوع خاصی از الگوریتم‌های تکاملی می‌باشد و از تکنیک‌های زیست شناسی فراگشتی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند و اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. ایده اساسی این الگوریتم انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن‌ها است. در علم ژنتیک خصوصیات توسط کروموزوم‌ها به نسل بعدی منتقل می‌شوند هر ژن در کروموزوم‌ها نمایده یک خصوصیت است. نحوه عملکرد به این صورت است که در ابتدا تعداد مشخصی از ورودی‌ها، که متعلق به فضای نمونه هستند انتخاب می‌شود که به آن‌ها اصطلاحا ارگانیسم یا کروموزوم گفته می‌شود. به گروه کروموزوم‌ها جمعیت یا کولنی می‌گویند و در هر دوره کولنی رشد می‌کند و بر اساس قوانین مشخص که حاکی از تکامل زیستی، است، تکامل می‌یابند. این الگوریتم ورودی‌هایی که به جواب بهینه نزدیک‌تر هستند را نگه داشته و از بقیه صرف نظر می‌کند. گام مهم دیگر در این الگوریتم تولد است که در هر دوره یکبار اتفاق می‌افتد، باعث می‌شود محتویات دو تا از بهترین کروموزوم‌ها برای ایجاد فرزند بهتری با هم ترکیب شوند. به علاوه در طول هر دوره، یک سری از آن‌ها ممکن است جهش یابند.

الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی بر اساس حل عددی مسایل بهینه‌سازی با متغیرهای پیوسته است که ترکیبی از الگوریتم ژنتیک متداول با متد تاگوچی است. توانایی اصلی متد تاگوچی ترکیب عملگرهای تفاطعی برای انتخاب بهترین ژن با عملگر جهش است. در نتیجه بهبود عملکرد الگوریتم ژنتیک معمولی را باعث می‌شود. بنابراین الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی پاسخ پایدارتر و همگرایی سریع‌تری دارد و می‌تواند پاسخ‌های بهینه یا نزدیک به بهینه را پیدا کند.

متد تاگوچی از متدهای مهندسی برای بهینه‌سازی شرایط است که کمترین حساسیت را به تغییرات مسایل گوناگون و تولیدات با کمترین هزینه دارد و این متد توسط دکتر تاگوچی معرفی شده است. دو ابزار اصلی ریاضیات که توسط این متد بکار می‌رود نسبت سیگنال به نویز، برای اندازه‌گیری کیفیت و آرایه‌های متعامد برای کم کردن تعداد زیادی از پارامترهای طراحی، در کمترین تعداد آزمایش است. در این متد تعدادی متغیر وجود دارد که مقدار سیگنال به نویز آن (η) برای کم کردن بهترین متغیر یا زیاد کردن آن

تعریف می‌شود. آرایه‌های متعامد آزمایشی است که اصلی‌ترین عامل استفاده از آن بالا بردن تحقق پارامترها همراه با رابطه تابع هدف و داشتن بالاترین بازده است.

روش معرفی شده در طی این پایان‌نامه بر روی رباتی با مفاصل انعطاف‌پذیر پیاده سازی شده است. در مقایسه با ربات‌های صلب، سنگین و حجیم، ربات‌های با لینک‌های انعطاف‌پذیر دارای مزایای خاصی می‌باشند. مزایای بالقوه آن‌ها سرعت عمل بالاتر، وزن کمتر، مصرف انرژی پایین، ظرفیت ترابری بیشتر، قابلیت حمل بهتر و قدرت مانور بیشتر می‌باشد. در مقابل تغییر شکل به دلیل خاصیت الاستیکی و لرزش از معایب آن‌ها می‌باشد. انعطاف لینک‌ها و مفاصل دو عامل اصلی انعطاف‌پذیری بازوهای مکانیکی هستند که باعث انحراف پنجه از مسیر برنامه‌ریزی شده می‌گردد. انعطاف‌پذیری لینک، در ربات‌های سبک که تحت سرعت‌های بالا و بارهای سنگین قرار دارند و نیز در ربات‌هایی با طول لینک زیاد، بیشتر نمود دارد، اما صورت دیگری از انعطاف‌پذیری مربوط به مفاصل است که در اکثر ربات‌ها وجود دارد. بنابراین لازم است در مدل‌سازی و کنترل ربات جهت دستیابی به دقت و کنترل دقیق‌تر به آن توجه شود. انعطاف‌پذیری مفاصل گاه می‌تواند منجر به ایجاد فرکانس‌های پایین تشدید در سازه شده و ارتعاشات و لرزش‌های ناخواسته‌ای را در ربات بوجود آورد. بنابراین کنترل این ربات‌ها اهمیت خیلی زیادی دارد.

۱-۲- اهداف پژوهش

در این پایان‌نامه هدف طرح مدل تاکاجی-سوگنو فازی از مدل سیستم غیرخطی است تا طراحی کنترلر بر اساس این مدل صورت گیرد و برای بهبود پارامترهای کنترلر نیز از الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی استفاده می‌شود.

سیستم غیرخطی مورد استفاده در این پایان‌نامه، یک ربات با مفصل انعطاف‌پذیر است که در آزمایشگاه ابزار دقیق دانشگاه تبریز ساخته شده است. توضیحات بیشتر در فصل‌های آتی آورده شده است.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

در ادامه در فصل دو به معرفی سیستم‌های فازی، الگوریتم ژنتیک و پیشینه پژوهش مرتبط با پایان‌نامه پرداخته می‌شود. در فصل سوم مدل فازی تاکاجی-سوگنو، ویژگی‌های آن، الگوریتم ژنتیک هیبرید-تاگوچی، متد تاگوچی و مشخصات و ویژگی‌های ربات با مفصل انعطاف‌پذیر آورده شده است. در نهایت

فصل چهار تجزیه و تحلیل و بیان نتایج حاصله است. نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی در بخش پنجم مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲- پیشینه پژوهش

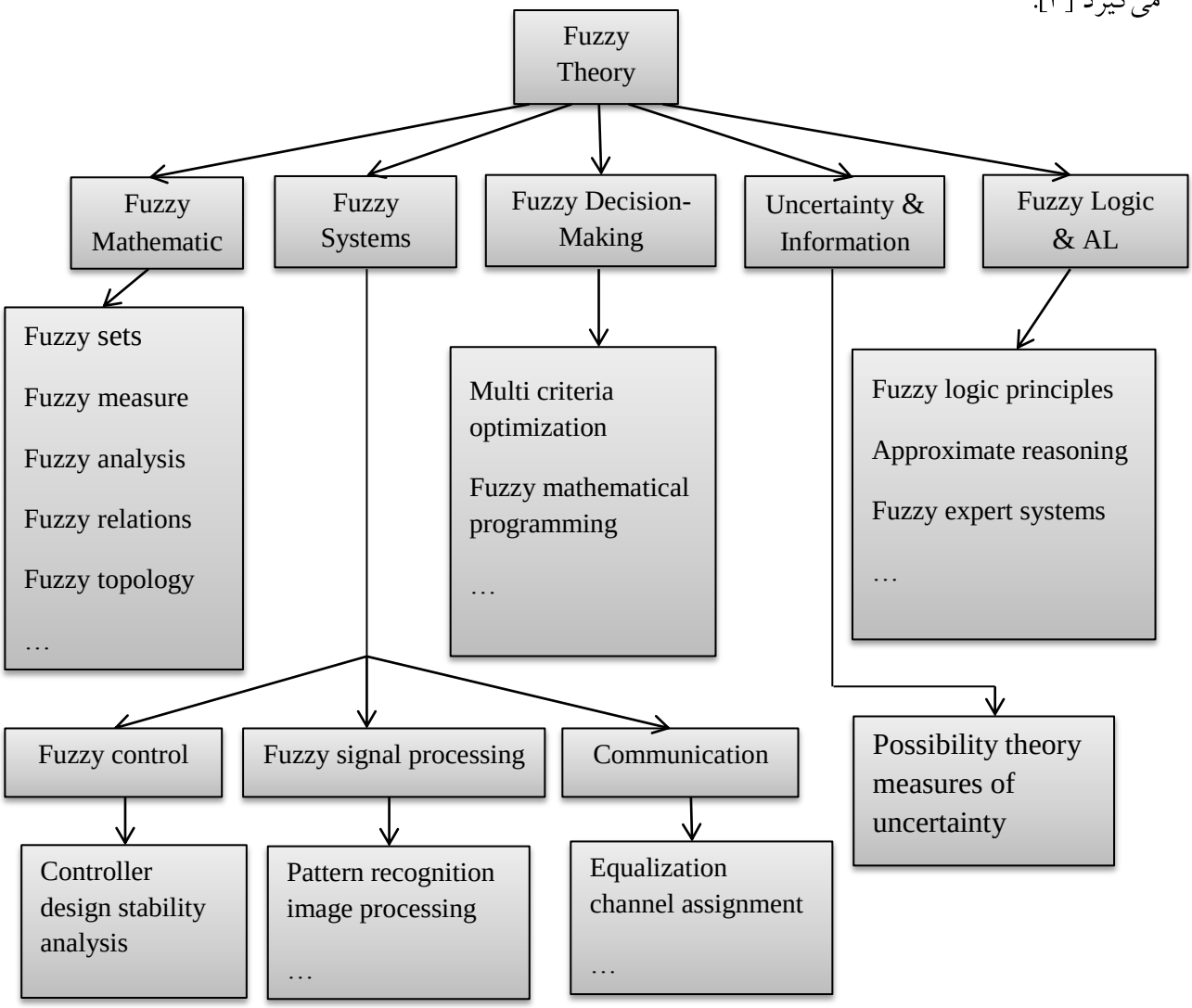
۲-۱- سیستم‌های فازی

سیستم‌های فازی برای نحوه تصمیم‌گیری تجربی و تقریبی انسان بنا نهاده شده‌اند. همان‌گونه که مغز انسان قادر است اطلاعات غیر دقیق و ناکافی را تجزیه و تحلیل کند، سیستم‌های فازی نیز قادراند محاسبات سیستماتیک و دقیق را روی داده‌های زبانی انجام دهند. در این سیستم‌ها به مدل‌سازی کمیت‌ها به صورت کیفی و شهودی پرداخته می‌شود و به جای استفاده از مقادیر کیفی به مواجه با عدم قطعیت‌ها تلاش می‌شود.

۲-۱-۱- تاریخچه

نظریه فازی توسط پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌ای به نام مجموعه‌های فازی معرفی گردید. قبل از وی در تئوری کنترل، مفهوم حالت که اساس تئوری کنترل مدرن را تشکیل می‌دهد، توسعه یافته بود. در اوایل دهه ۶۰ میلادی از آن‌جایی که تئوری کنترل کلاسیک بیش از حد بر روی دقت تاکید داشت به همین دلیل نمی‌توانست بر روی سیستم‌های پیچیده کار کند. از این رو در سال ۱۹۶۲ متنی به این مضمون برای سیستم‌های بیولوژیک نوشته شد. "ما اساساً به نوع جدیدی از ریاضیات نیازمندیم"، چرا که ریاضیات مقادیر مبهم توسط توزیع احتمالات قابل توصیف نیستند [۱]. در دهه ۱۹۷۰ نظریه فازی رشد کرد و کاربردهای عملی آن نیز ظاهر گردید. پس از معرفی مجموعه‌های فازی پروفسور لطفی‌زاده تصمیم‌گیری فازی و ترتیب فازی را به ترتیب در سال ۱۹۶۸، ۱۹۷۰ و ۱۹۷۱ مطرح نمود. رخداد بزرگ در دهه ۱۹۷۰ تولید کنترل کننده‌های فازی برای سیستم‌های واقعی بود و در سال ۱۹۷۵ ممدانی و آسیلیان چارچوب اولیه‌ای را برای کنترل کننده‌های فازی مشخص کردند و کنترل کننده فازی را به یک موتور بخار اعمال نمودند [۱] و [۲]. در سال ۱۹۷۸ هولمبلاد و اوسترگارد اولین کنترل کننده فازی را برای کنترل کوره سیمان به عنوان یک فرآیند صنعتی کامل به کار بردند. در اوایل دهه ۱۹۸۰ این زمینه از نقطه نظر تئوریک پیشرفت کندی داشت. مهندسان ژاپنی به سرعت دریافتند که کنترل کننده‌های فازی به سهولت قابل طراحی بوده و به دلیل این که به مدل ریاضی نیاز دارند، آن‌ها را می‌توان در مورد بسیاری از سیستم‌هایی که بوسیله تئوری کنترل قابل تعریف و پیاده‌سازی نیستند به کار برد. در سال ۱۹۸۰ سوگنو شروع به ساخت اولین کنترلر فازی برای سیستم تصفیه آب فوجی ژاپن نمود، در سال ۱۹۸۳ او مشغول کار بر روی یک ربات فلزی شد. ماشینی که از راه دور کنترل شده و خودش به تنهایی عمل پارک را انجام می‌داد. در این سال‌ها میاماتو و یاشونوبو از شرکت هیتاچی کار روی سیستم کنترل فازی قطار زیر زمینی سندایی را آغاز کردند بالاخره

پروژه به ثمر نشست و یکی از پیشرفته ترین سیستم‌های قطار زیرزمینی را در جهان به وجود آورد. در سال ۱۹۸۷ دومین کنفرانس سیستم‌های فازی در توکیو برگزار گردید در این کنفرانس یک ربات فلزی که در حال بازی تنیس بود و نیز یک کنترلر فازی که یک پاندول معکوس را در حالت تعادل نگه می‌داشت به نمایش گذاشته شد. در سال ۱۹۹۲ اولین کنفرانس بین‌المللی IEEE در زمینه سیستم‌های فازی در سانديگو برگزار گردید. این اقدام سمبولیک در مورد پذیرفتن سیستم‌های فازی به‌وسیله بزرگترین سازمان مهندسی IEEE گشایش یافت [۱]. با این حال کارهای زیادی هنوز باید انجام شود و بسیاری از راه‌حل‌ها در ابتدای راه قرار دارند. تئوری فازی طبق شکل ۲-۱ به پنج شاخه اصلی طبقه بندی شده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود تئوری فازی یک شاخه بسیار گسترده‌ای است که در اکثر مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳].



شکل ۲-۱. طبقه بندی نظریه فازی

۲-۲- الگوریتم ژنتیک[1]

الگوریتم ژنتیک روشی برای حل مسائل جستجو و بهینه‌سازی است و جزئی از محاسبات تکاملی است که خود جزئی از هوش مصنوعی می‌باشد. ویژگی‌های خاص این الگوریتم باعث می‌شود که نتوانیم آن را یک جستجوگر تصادفی ساده قلمداد کنیم. در واقع ایده اصلی این روش از فرآیندهای بیولوژیکی موجودات زنده الهام گرفته شده است. طبیعت طی تولید نسل‌های متوالی، طبق قانون "تطابق برای بقا" موجوداتی را انتخاب می‌کند. این قانون اولین بار توسط چارلز-داروین مطرح شد. با این استنتاج می‌توان گفت الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل دنیای واقعی به کار برده می‌شود. برای این کار باید مساله را به صورت مناسب برای الگوریتم ژنتیک کد کنیم. ایده محاسباتی تکاملی، اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط رچنبرگ که در زمینه استراتژی‌های تکاملی تحقیق می‌کرد، به‌وجود آمد که نظریه او بعدها توسط دیگر محققان به کار رفته و توسعه داده شد [۴]. اصول اولیه الگوریتم ژنتیک توسط هلند و همکارانش در دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۶۲ ارائه شد. آنان در تحقیقات خود به فرآیند سازگاری در سیستم‌های طبیعی توجه نمودند و برای مدل‌سازی آن در سیستم‌های مصنوعی که باید دارای توانایی‌های اصلی سیستم‌های طبیعی باشند، تلاش نمودند. نتیجه این تلاش‌ها پیدایش الگوریتم ژنتیک بود. سپس در سال ۱۹۷۵، مبانی ریاضی آن در کتابی توسط هلند با نام "تطبیق در سیستم‌های طبیعی و مصنوعی" منتشر شد. در سال ۱۹۹۲، جان کوزا الگوریتم ژنتیک را به منظور انجام وظایف خاصی در برنامه‌هایش بکار برد. او این روش را برنامه‌ریزی تکاملی نامید. هدف آن پیدا کردن الگوریتمی است که بتواند جواب هر صورت مساله‌ای را پیدا کند. در این روش باید برای الگوریتم‌ها مطلوبیت تعریف کرد تا فهمیده شود که کدام الگوریتم بهتر است. در سال‌های اخیر، معمولاً موارد استفاده الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه‌سازی بوده است [۴، ۵] خاصیت مهم این الگوریتم، مقاوم بودن آن است، بطوری‌که در آن یک تعادل انعطاف‌پذیر بین کارایی و خصوصیات لازم برای بقا در محیط‌ها و شرایط گوناگون وجود دارد.

نقطه قوت این الگوریتم موازی بودن آن است. اکثر الگوریتم‌های دیگر موازی نبوده و فقط فضای مساله مورد نظر را در یک جهت و در یک لحظه جستجو می‌کنند و اگر راه حل پیدا شده یک جواب بهینه محلی باشد یا زیر مجموعه‌ای از جواب اصلی باشد، باید تمام کارهایی که تا به حال انجام شده را کنار گذاشت و دوباره از اول شروع کرد. از آن‌جایی که این الگوریتم چندین نقطه شروع دارد، در یک لحظه می‌تواند

[1] Genetic Algorithm (GA)

فضای مساله را از چند جهت مختلف جستجو کند، اگر یکی به نتیجه نرسید سایر راه‌ها ادامه می‌یابند و منابع بیشتری در اختیارشان قرار می‌گیرد. پس به دلیل موازی بودن و این که چندین رشته در یک لحظه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، الگوریتم‌های ژنتیک برای مسائلی که فضای راه حل بزرگی دارند بسیار مفید هستند. نقطه قوت بعدی این الگوریتم این است که در مورد مسائلی که حل می‌کند، نمی‌داند و اصطلاحاً به آن کور می‌گویند. آن‌ها تغییرات تصادفی را در راه‌حل‌های کاندیدشان انجام می‌دهند و سپس از تابع برازش برای سنجش این که آیا تغییرات پیشرفتی ایجاد کرده‌اند یا نه، استفاده می‌کنند. مزیت این تکنیک این است که به الگوریتم ژنتیک اجازه می‌دهد تا با ذهنی باز شروع به حل کند. از آنجایی که تصمیمات آن اساساً تصادفی است، بر اساس تئوری همه راه حل‌های ممکن به روی مسئله باز می‌شود، ولی مسائلی که محدود به اطلاعات هستند باید از راه قیاس تصمیم بگیرند ودر این صورت بسیاری از راه حل‌های نو و جدید را از دست می‌دهند. یکی دیگر از مزایای الگوریتم ژنتیک این است که می‌تواند چندین پارامتر را همزمان تغییر دهد. محدودیت الگوریتم چگونگی نوشتن عملگر برازندگی[1] است که منجر به بهترین راه حل برای مسئله شود. اگر کارکرد برازش به خوبی و با قوت انتخاب نشود ممکن است راه حلی برای مسئله پیدا نشود یا مساله‌ای دیگر به اشتباه حل شود. مشکل دیگر، که آن را نارس می‌گویند، این است که اگر یک ژنوم که فاصله‌اش با سایر ژنوم‌های نسل‌اش زیاد باشد (خیلی بهتر از بقیه باشد) و خیلی زود دیده شود، ممکن است محدودیت ایجاد کند و راه حل را به سوی جواب بهینه محلی سوق دهد. این اتفاق معمولاً در جمعیت‌های کم اتفاق می‌افتد. روش‌های انتخاب تصادفی، ترتیبی و رقابتی بر این مشکل غلبه می‌کنند.

۲-۳- بازوی انعطاف‌پذیر

ربات‌ها دارای کاربردهای بسیار وسیعی در مراکز صنعتی، پر خطر و همچنین محیط‌هایی که عملیات مشخصی به صورت تکراری در آن انجام می‌شود، هستند. بسیاری از بازوهای ربات‌های موجود به نحوی ساخته می‌شوند که بیشترین سختی ممکن را داشته باشند تا عملگر نهایی[2] ارتعاش کمتر و دقت بالاتر در مکان‌یابی را داشته باشد. ساخت بازوهایی با سختی و صلبیت زیاد به مفهوم استفاده از مواد و محرک‌های

[1] Fitness
[2] End effector