





دانشکده‌ی مهندسی مکانیک و مکاترونیک

گروه مکاترونیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گرفتن ایمن یک جسم با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی

توسط گریپر ربات

ایمان حسینی

استاد راهنما:

دکتر حبیب احمدی

استاد مشاور:

دکتر محمد مهدی فاتح

بهمن‌ماه ۱۳۹۳



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای ایمان حسینی.. به شماره دانشجویی ۹۰۰۱۸۸۴ رشته مکانیک گرایش مکترونیک تحت عنوان: گرفتن ایمن یک جسم با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی توسط یک گریپر ربات که در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: خوب - امتیاز ۱۶۶) دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر حبیب احمدی	۱- استاد راهنما
	استاد	دکتر محمد مهدی فاتح	۲- استاد مشاور
		مهندس احمد مددی	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر مهدی بامداد	۴- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر حسین خسروی	۵- استاد ممتحن

رئیس دانشکده: دکتر محمد محسن شاهمردان
امضاء



ماحصل آموختہ ہائیم را تقدیم می‌کنم بہ آمان کہ مہر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است
بہ استوارترین تکیہ گاہم، دستان پر مہر پدرم
بہ سبزترین مگاہ زندگیم، چشمان سبز مادرم
بوسہ بردستان پر مہر تان.

باسپاس فراوان از راهنمایی‌ها و زحمات استاد محترم و کراتقدر جناب آقای دکتر
حمیب احمدی که از ابتدای راه و در طی انجام این تحقیق، باره‌سنائی‌های خود مرا
در نگارش این اثر یاری نمودند و همچنین قدر دانی و تقدیر از استاد بزرگوار، جناب
آقای پروفور محمد مهدی فاتح استاد محترم مشاور، که با هدایت و حمایت‌های بی
دریغشان یاری ام نمودند.

تعهدنامه

اینجانب ایمان حسینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک-گرایش مکاترونیک دانشکده‌ی مهندسی مکانیک دانشگاه شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه‌ی گرفتن ایمن یک جسم با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی توسط گریپر ربات، تحت راهنمایی دکتر حبیب احمدی 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 مورداستفاده 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 صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» 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 کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه‌ی 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

- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی 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:

در حوزه رباتیک، با توجه به رشد روز افزون این دانش، نیاز به ربات‌هایی با کاربردهای خاص بیش از پیش احساس می‌شود. گیره‌ها در بازوان رباتیکی برای گرفتن و نگه داشتن اجسام در یک موقعیت مشخص طراحی شده و می‌تواند دامنه وسیعی از کاربردها را برای ربات‌ها فراهم سازد. برای گرفتن و نگه داشتن اجسام منعطف و صلب، گیره‌هایی با شکل‌های متفاوت طراحی و با روش‌های بسیاری کنترل شده‌اند. گیره بین مچ و جسم قرار می‌گیرد و از آن جایی که اجسام می‌توانند در اندازه، شکل، جرم متفاوت باشند، عموماً یک روش کنترلی نیاز است تا بتواند رفتار و ماهیت جسم را تشخیص دهد و بر مبنای آن دستورات کنترلی را صادر نماید. انگشتان ربات نیاز به یک سیستم کنترل متمرکز دارند تا جریان داده‌ها را از سنسورهای تماسی و بینایی هدایت کند و سپس محاسبه کند که چطور یک عمل برداشتن را اجرا کند. انسان به شکلی کاملاً بدیهی و طبیعی یا راه میان‌بر و کوتاه‌ترین راه را انتخاب می‌کند یا این عملیات را ساده‌سازی می‌کند. به طور خلاصه در تحقیقات گذشته بخش مدل-سازی و کنترل ربات‌های گیرنده توسط انفیس صورت پذیرفته است اما عمده این تحقیقات در مباحث تعقیب مسیر ربات و زنجیره بوده است و زمینه کاربرد انفیس در گرفتن جسم توسط پنجه کمتر مورد توجه بوده است هر چند تحقیقاتی در زمینه گرفتن ایمن جسم به روش‌های کنترلی مرسوم در حال انجام است.

در این تحقیق به طراحی یک روش کنترلی براساس انفیس پرداخته خواهد شد که یک ربات بتواند جسم را بصورت ایمن توسط پنجه طوری بگیرد که بتواند لغزش جسم را کنترل نموده و از سقوط جسم جلوگیری نماید. به منظور نوآوری و رسیدن به روش جدید در این تحقیق برای شناسایی با انفیس از قوانین فازی برای توابع فعال‌سازی در شبکه انفیس استفاده شده است. بدین منظور از یک سری داده‌های اولیه در مورد رفتار اجسام در برابر نیرو و گریپر استفاده شده است تا شبکه انفیس را بتوان آموزش داد. اساسی‌ترین بخش این تحقیق هم مربوط به ساخت مدلی نوروفازی می‌باشد که

رفتار جسم را به خوبی تشخیص دهد. پس از آن براساس استنتاج این شبکه و گرفتن بازخوردهای مشخص از جسم با استفاده از یک مدل کنترلی تناسبی-انتگرالی-مشتق‌گیر کنترل بر اساس مدل اسکارا شبیه‌سازی شده و نتایج آن ارائه می‌شود. در ضمن این کنترل باید طوری عمل نماید که پنجه به جسم نیروی اضافه وارد ننماید زیرا این نیروی اضافی در اجسام ظریف باعث آسیب به آن می‌شود.

کلمات کلیدی: گرفتن اجسام، انفیس، قانون فازی، کنترلر تناسبی-انتگرالی-مشتق‌گیر، مدل ربات

اسکارا

فهرست

صفحه	عنوان
۱.....	۱-مقدمه.....
۱.....	۱-۱-۱ پیش زمینه.....
۱.....	۱-۱-۱-۱ مکانیزم پنجه ربات.....
۶.....	۱-۱-۲ روش های کنترلی.....
۸.....	۲-۱ شبکه عصبی مصنوعی.....
۸.....	۱-۲-۱ تاریخچه.....
۹.....	۲-۲-۱ تعریف.....
۱۰.....	۳-۲-۱ اجزا شبکه عصبی.....
۱۱.....	۴-۲-۱ آموزش شبکه عصبی.....
۱۲.....	۱-۴-۲-۱ آموزش با سرپرست.....
۱۲.....	۲-۴-۲-۱ آموزش تقویتی.....
۱۲.....	۵-۲-۱ کاربرد شبکه عصبی.....
۱۳.....	۳-۱ منطق فازی.....
۱۵.....	۴-۱ مدل انفیس.....
۱۷.....	۵-۱ کنترل PID.....
۱۸.....	۶-۱ انگیزه و ضرورت انجام پروژه.....
۲۰.....	۲ مدل سازی ربات.....
۲۰.....	۱-۲ جایگاه ربات اسکارا.....
۲۵.....	۱-۱-۲ ساختار ربات اسکارا.....
۲۶.....	۲-۱-۲ فضای کاری ربات.....
۲۸.....	۳-۱-۲ پارامتر دناویت هارتنبرگ.....
۲۹.....	۲-۲ معادلات سینماتیک ربات اسکارا.....
۳۰.....	۱-۲-۲ سینماتیک مستقیم ربات.....
۳۰.....	۲-۲-۲ سینماتیک معکوس ربات.....
۳۱.....	۳-۲-۲ تعداد پاسخ های مساله سینماتیک و افزونگی.....

۳۲	..... دینامیک	۳-۲
۳۲	..... تحلیل دینامیکی مساله مورد مطالعه	۳-۲-۱
۳۵	..... روابط نیروهای تعاملی در فازهای مختلف حرکتی	۳-۲-۲
۴۰	..... طراحی شبکه عصبی فازی تطبیقی و طراحی کنترل	۳
۴۰	..... طراحی شبکه عصبی - فازی تطبیقی	۳-۱-۱
۴۳	..... سیستم فازی سوگنو	۳-۱-۱-۱
۴۸	..... نگارش قوانین شبکه عصبی فازی	۳-۱-۲
۵۲	..... آموزش و تست شبکه	۳-۱-۳
۵۴	..... طراحی کنترلر	۳-۲
۵۵	..... کنترلر تناسبی مشتق گیرانتگرالگیر	۳-۲-۱
۵۶	..... محاسبات کنترلر	۳-۲-۲
۵۷	..... پیاده سازی مدل نهایی	۳-۳
۵۸	..... نتایج و شبیه سازی	۳-۳-۱
۶۱	..... جمع بندی	۳-۴
۶۴	..... طراحی شبکه عصبی فازی تطبیقی و طراحی کنترل - حرکت فضایی	۴
۶۵	..... طراحی شبکه عصبی بر اساس دینامیک جدید	۴-۱
۶۶	..... تدوین قوانین شبکه عصبی فازی	۴-۱-۱
۷۱	..... آموزش و تست شبکه	۴-۱-۲
۷۲	..... طراحی کنترلر	۴-۲
۷۳	..... پیاده سازی مدل نهایی	۴-۳
۷۴	..... نتایج و شبیه سازی	۴-۳-۱
۸۲	..... جمع بندی	۴-۴
۸۴	..... نتیجه گیری و پیشنهاد کارهای آتی	۵

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲	شکل (۱-۱) ربات اکادا.....
۳	شکل (۲-۱) ربات استانفورد.....
۴	شکل (۳-۱) ربات یوتا.....
۵	شکل (۴-۱) انعطاف پذیری بالای بازوی ماهر چند انتخابی در گرفتن اشیا با اشکال متفاوت.....
۵	شکل (۵-۱) طراحی گریپر گرفتن گوجه.....
۶	شکل (۶-۱) ربات مورد استفاده در کلمن.....
۷	شکل (۷-۱) ربات مورد استفاده در سونگ وان سونگ.....
۱۱	شکل (۸-۱) شبکه عصبی با یک لایه مخفی، سه ورودی و دو خروجی.....
۱۴	شکل (۹-۱) ربات فک موازی زاکی.....
۲۲	شکل (۱-۲) تصویر ربات سری پوما.....
۲۲	شکل (۲-۲) ربات گافاستوارت به عنوان شبیه ساز پرواز.....
۲۴	شکل (۳-۲) ربات انسان‌نمای آسیمو - شرکت هوندا.....
۲۴	شکل (۴-۲) ربات اسکارا ساخت شرکت میتسوبیشی.....
۲۵	شکل (۵-۲) ربات کروی با نام چشم چابک با سه درجه آزادی.....
۲۷	شکل (۶-۲) ساختار سینماتیکی ربات اسکارا.....
۲۸	شکل (۷-۲) فضای کاری ربات اسکارا از دید بالا.....
۲۸	شکل (۸-۲) فضای کاری کلی سه بعدی ربات اسکارا.....
۲۹	شکل (۹-۲) شرایط ربات اسکارا.....
۳۲	شکل (۱۰-۲) علت وجود چند جواب در دو مفصل اول ربات اسکارا.....
۳۵	شکل (۱۱-۲) شکل ربات اسکارا جهت مدل‌سازی دینامیکی.....
۴۴	شکل (۱-۳) ساختار اصلی یک سیستم فازی خالص.....
۴۵	شکل (۲-۳) استنتاج فازی سوگنو.....
۴۶	شکل (۳-۳) شکل کلی شبکه عصبی و فازی طراحی شده بر اساس دو ورودی و یک خروجی.....
۴۹	شکل (۴-۳) نمونه‌هایی از توابع عضویت.....
۵۲	شکل (۵-۳) مدل حاصل از دو ورودی و یک خروجی برای شبکه عصبی فازی.....
۵۵	شکل (۶-۳) قوانین فازی مورد استفاده برای لغزش توسط پنجه.....

- شکل (۷-۳) قوانین فازی مورد استفاده برای اصطکاک سطح برای پنجه ۵۵
- شکل (۸-۳) ارزیابی مدل برای فرآیند آموزش داده‌ها ۵۷
- شکل (۹-۳) شکل هم‌گرایی شبکه برای آموزش ، آزمون و ارزیابی شبکه ۵۷
- شکل (۱۰-۳) شماتیک کنترلر فازی ۵۸
- شکل (۱۱-۳) شماتیک مدل‌سازی کنترلی به روش PID ۵۹
- شکل (۱۲-۳) بلوک دیاگرام مدل کنترلی ۶۰
- شکل (۱۳-۳) تغییرات سرعت در راستای Z در تست کنترلر ۶۲
- شکل (۱۴-۳) تغییرات ارتفاع در راستای Z در تست کنترلر ۶۲
- شکل (۱۵-۳) نیروی اصطکاک در راستای Z ۶۳
- شکل (۱۶-۳) نیروی عمود بر سطح در راستای Y ۶۴
- شکل (۱-۴) شکل کلی شبکه عصبی و فازی طراحی شده بر اساس سه ورودی و سه خروجی ۶۷
- شکل (۲-۴) مدل حاصل از سه ورودی و سه خروجی برای شبکه عصبی فازی ۶۹
- شکل (۳-۴) قوانین فازی مورد استفاده برای لغزش توسط گیرنده ۷۱
- شکل (۴-۴) قوانین فازی مورد استفاده برای اصطکاک سطح برای گیرنده ۷۱
- شکل (۵-۴) ارزیابی مدل برای فرآیند آموزش داده‌ها ۷۲
- شکل (۶-۴) هم‌گرایی شبکه برای آموزش ، آزمون و ارزیابی شبکه ۷۳
- شکل (۷-۴) شماتیک کنترلر فازی ۷۴
- شکل (۸-۴) بلوک دیاگرام کنترلی مدل برای گشتاور و نیرو ۷۵
- شکل (۹-۴) مسیر دایره‌ای دلخواه برای ربات اسکارا ۷۶
- شکل (۱۰-۴) تغییر مکان جسم در راستای x ۷۶
- شکل (۱۱-۴) تغییر مکان جسم در راستای y ۷۷
- شکل (۱۲-۴) تغییر مکان جسم در راستای Z ۷۷
- شکل (۱۳-۴) تغییر سرعت جسم در راستای x ۷۸
- شکل (۱۴-۴) تغییر سرعت جسم در راستای Y ۷۸
- شکل (۱۵-۴) تغییر سرعت جسم در راستای Z ۷۹
- شکل (۱۶-۴) مقایسه مسیر دلخواه و مسیر حرکت جسم در صفحه ۷۹
- شکل (۱۷-۴) مقادیر دلخواه و محاسبه شده گشتاور ۱ ۸۰
- شکل (۱۸-۴) مقادیر دلخواه و محاسبه شده گشتاور ۲ ۸۰

شکل (۴-۱۹) نیروی عمود بر سطح در راستای y ۸۱

شکل (۴-۲۰) مقادیر دلخواه و محاسبه شده گشتاور ۱..... ۸۲

شکل (۴-۲۱) مقادیر دلخواه و محاسبه شده گشتاور ۲..... ۸۲

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۹.....	جدول (۱-۲) پارامترهای دناویت- هارتنبرگ ربات اسکارا.....
۳۸.....	جدول (۲-۲) جدول مربوط به نحوه محاسبه اصطکاک براساس وضعیت جسم در فرآیند لغزش.....
۵۲.....	جدول (۱-۳) جدول ضرایب PID براساس روش زیگلر- نیکلز.....
۶۰.....	جدول (۲-۳) شرایط پیاده‌سازی کنترلر.....
۷۰.....	جدول (۱-۴) قوانین فازی نگارش شده برای گشتاور و اصطکاک و لغزش.....

فصل اول

مقدمه و مروری بر کارهای پیشین

۱ مقدمه:

این فصل به ضرورت انجام تحقیق به دلیل اهمیت گرفتن اجسام با توجه به خصوصیات آن می‌پردازد. پس از آن به طور خلاصه روش تحلیل داده‌ها، کنترل سیستم ربات اسکارا و دینامیک آن و مراحل انجام تحقیق ارائه شده است.

۱-۱ پیش زمینه

تحقیقات به سمت طراحی و کنترل مجری‌های نهایی پیچیده‌ی هدایت شده، سوق داده شده است تا چالاک‌ی و انطباق‌پذیری ربات را افزایش دهد. یکی از چالش‌های اصلی ساخت بازوهای ربات، عملگر بوده (به خصوص در محیط‌های تولیدی) با ابزاری که از کف دست و ربات‌های با مفاصل فعال تشکیل شده باشد. یک بازوی رباتیک به عنوان ماشینی در نظر گرفته می‌شود که وظایف خود را با استفاده از برنامه‌ریزی انجام می‌دهد؛ اگرچه، یافته‌های جدید در زمینه‌ی گیره‌های رباتیک همچنان قادر به انجام دقیق وظایف پیچیده نیستند.

برای گرفتن جسم، طراحی‌های متفاوت و همچنین روش‌های کنترلی بسیاری مطرح شده‌اند که در آن‌ها دو راه حل کلی وجود دارد. راه حل اول طراحی مکانیزم گیرنده مخصوص و راه حل دوم ارائه روش نوین کنترلی برای گرفتن اجسام با هر خصوصیتی می‌باشد. به منظور ارائه مکانیزم مخصوص، ایده‌های بسیار زیادی مد نظر طراحان بوده که اغلب براساس استفاده از سیستم‌های پنوماتیک و یا جسم نرم دربرگیرنده بوده است.

۱-۱-۱ مکانیزم پنجه ربات

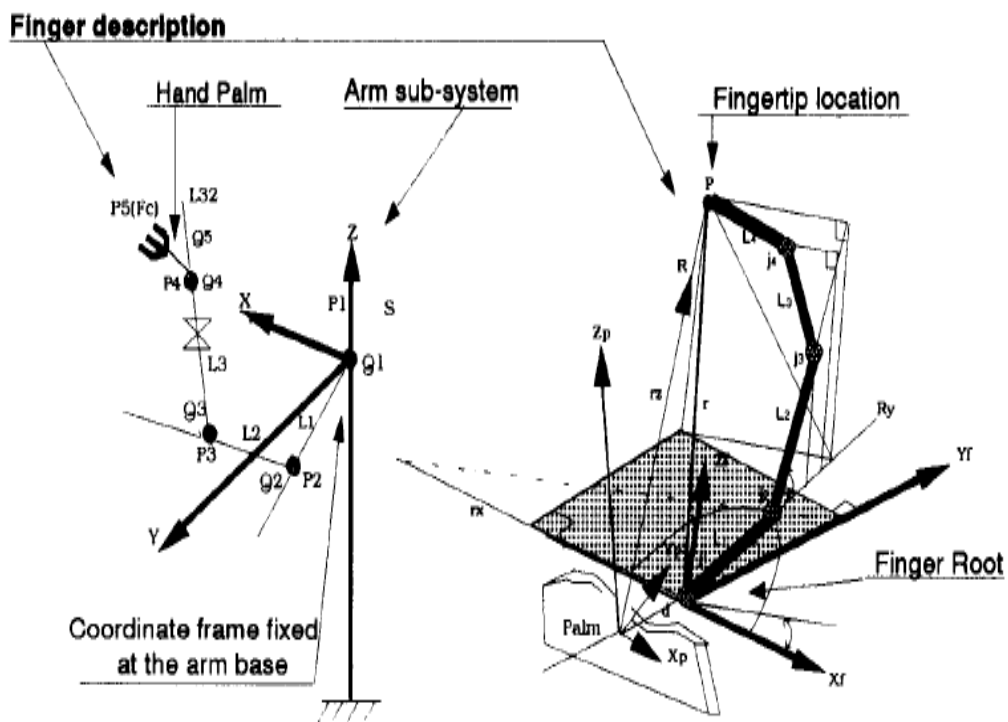
به عنوان نمونه کارهایی که در این زمینه انجام شده است، می‌توان به رباتی که اکادا^۱ طراحی نمود

^۱ Okada

اشاره کرد [۱]. این سیستم ربات از یک بازوی پنج درجه آزادی تشکیل شده بود. همان طور که در شکل (۱-۱) نمایش داده شده است این بازو به یک گیره‌ی رباتی با ۱۱ درجه آزادی متصل گردیده است. سه انگشت وجود دارند، که هرکدام ۴ درجه آزادی دارند، درحالی‌که شصت تنها سه درجه آزادی دارد.

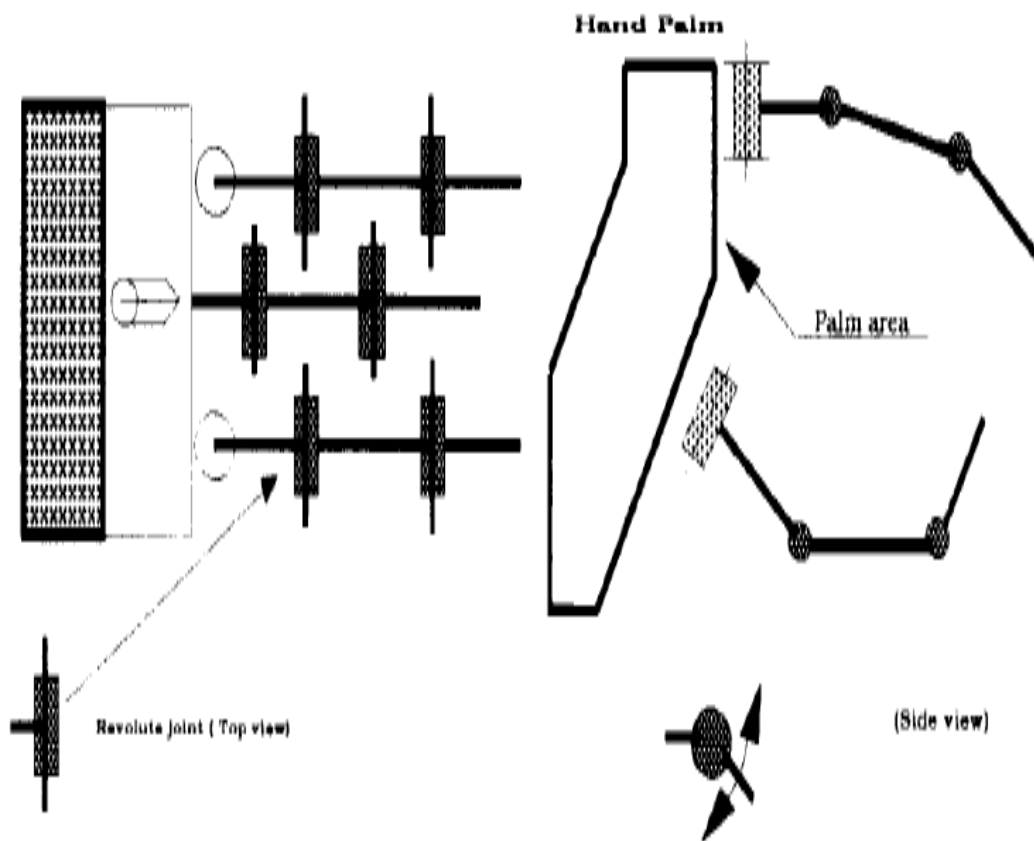
گیره‌ی استنفورد/JLP مطابق با شکل (۲-۱) با استفاده از شباهت انسانی و دغدغه‌های جنبش‌شناسی و کنترلی ساخته شد [۲]. طراحی نهایی گیره براساس تعدادی از رویه‌های تحلیلی و بصری بود. در کار فوق شبیه‌سازی دست جهت بهینه‌سازی موقعیت نسبی ربات‌ها، طول پیوندها و حرکت در محدوده‌ی مفاصل مورد استفاده قرار گرفت.

همچنین سالیسبری^۱ از یک حسگر در نوک ربات‌ها استفاده نموده که قادر است موقعیت، اندازه و جهت نیروی اعمال شده از طریق تماس نقطه‌ای را تعیین کند [۳].



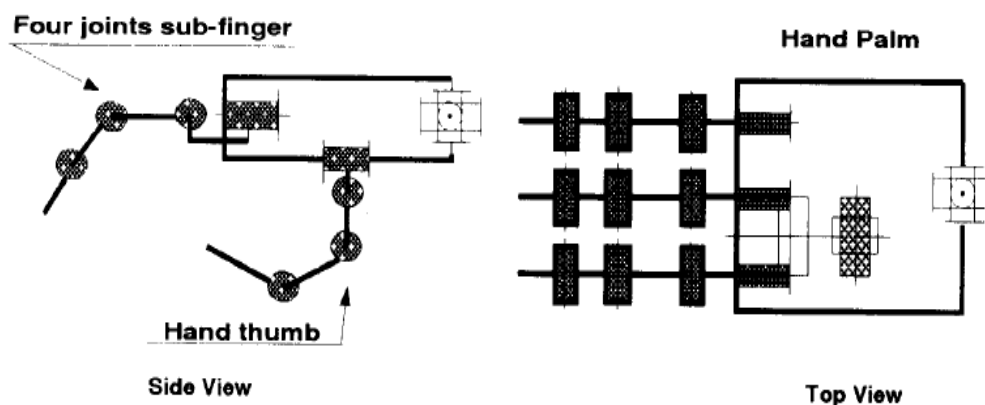
شکل (۱-۱) ربات اکادا

¹ salisbury



شکل (۲-۱) ربات استانفورد

مدل زیست شناختی پنجه یوتا شواهدی ارائه داده که چنین طراحی برای عملیات‌های بسیار پیچیده-ی گرفتن اجسام کاراست. پنجه MIT دارای سه انگشت با درجه‌ی آزادی چهار و یک شست با درجه-ی آزادی چهار می‌باشد و مشخص‌ترین تلاش برای دستیابی به یک پنجه با شباهت واقعی به دست انسان است (شکل ۱-۳) [۴]. از آنجاکه پنجه جهت تحقیقات در مورد عملیات از راه دور به کار گرفته می‌شود، طراحی ابتدایی آن با دست انسان قابل مقایسه است. این گیره با استفاده از سیلندرهای بادی بسیار سریع و از طریق تاندون‌های پلیمری انرژی می‌یابد.



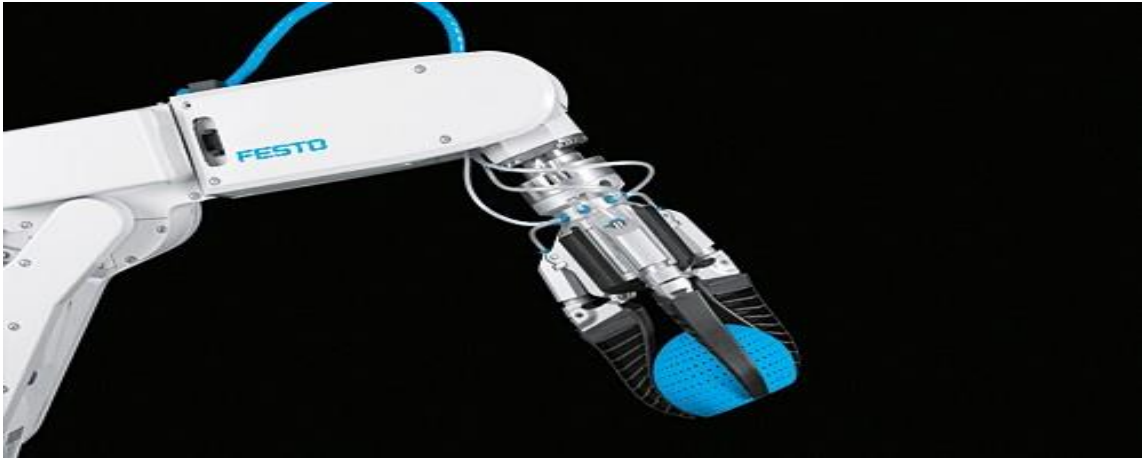
شکل (۳-۱) ربات یوتا

گیره‌ی MIT به طور متضاد با استفاده از یک راهبرد تاندون $2N$ فعال می‌گردد که یک سیستم از ۳۲ تاندون و سیلندر مستقل را الزام می‌دارد. این امر برای کنترل انطباقی اشیا مناسب است، چراکه سازمان‌دهی متضاد آن اجازه می‌دهد سختی مفاصل قابل کنترل باشد. سیستم کنترل گیره‌ی یوتا دو حرکت واکنشی را اجرا می‌کند که در دست انسان مشاهده می‌شوند. (۱) سختی ابتدایی؛ و (۲) پیچش انتهایی.

در نمونه دیگری می‌توان به بازوی ماهر چند انتخابی گریپر^۱ در شکل (۴-۱) اشاره کرد که متخصص در گرفتن اجسام متغیر با زمان می‌باشد [۵]. ربات‌های با سازگاری بالا، تطبیق و انعطاف پذیری به شکل‌های متنوع با استفاده از تکنولوژی منحصر به فرد فین ری استراکچر^۲ فستو ممکن می‌شود. با استفاده از این قابلیت می‌تواند اشیا شکننده را بدون هیچ سنسور و یا تکنولوژی کنترلی اضافی نگه داشت [۶]. از کاربردهای قابل تصور در مورد این دستگاه می‌توان به مواردی همچون ربات کمکی برای کارهای مونتاژ و یا در مراکز تولید که در آن محصولات مختلف ساخته می‌شود نام برد.

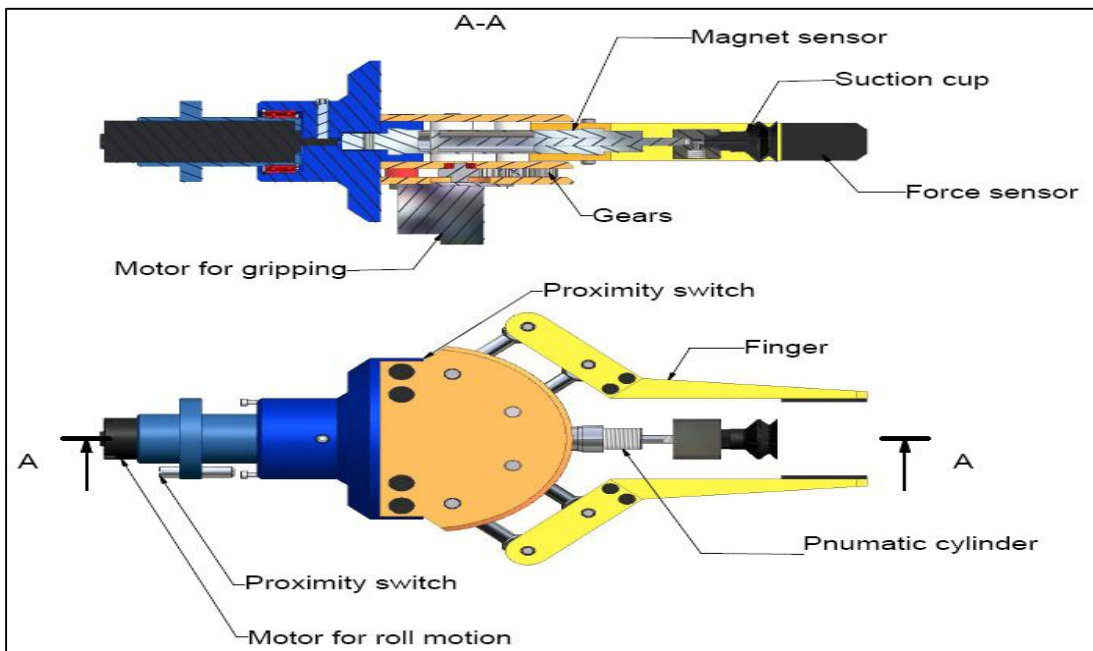
^۱ MultiChoiceGripper

^۲ Fin Ray structure



شکل (۱-۴) انعطاف پذیری بالای بازوی ماهر مولتی چویس گریپر در گرفتن اشیا با اشکال متفاوت [۶]

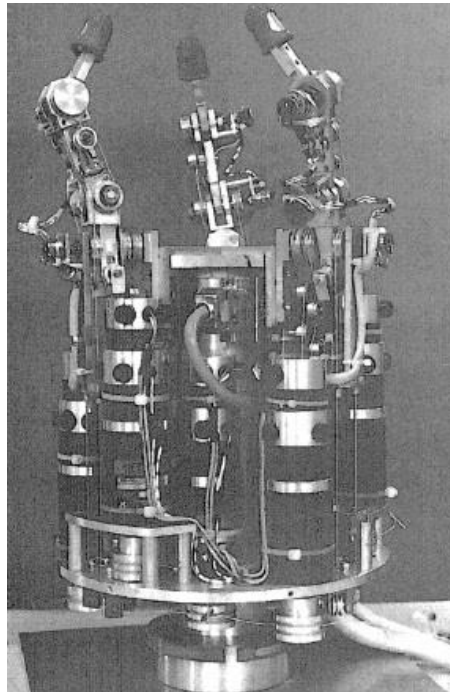
در پروژه‌ی دیگری ربات برداشت گوجه‌فرنگی توسط گریپر در شکل (۱-۵) ارائه گردیده است که بیشتر به منظور طراحی مدل و گریپر می‌باشد که در شکل زیر عملکرد آن مشاهده می‌گردد و در منبع فارسی [۱] آورده شده است.



شکل (۱-۵) طراحی گریپر گرفتن گوجه در منبع فارسی [۱]

۲-۱-۱ روش‌های کنترلی

در سال ۱۹۹۲ آقای کلمن^۱ یک ربات دارای سه انگشت که هر یک از انگشتان آن دارای سه مفصل است شکل (۶-۱) را مورد مطالعه قرار داد. هر یک از مفصل‌ها دارای دو سنسور گشتاور و موقعیت می‌باشد. برای کنترل ربات‌ها از دو حلقه کنترل موقعیت مفصل و گشتاور استفاده شده است. در این ربات از روش کنترل یادگیرنده استفاده شده است. المان یادگیرنده یک سیستم دارای حافظه انجمنی می‌باشد که یک الگوریتم مناسب برای ذخیره ورودی‌ها و خروجی‌ها بوده و دارای رابطه غیرخطی است. این بلوک به ازای مقادیر ورودی که در داده‌های آموزش وجود نداشته باشد مقدار خروجی را با استفاده از میان‌بایی محاسبه می‌کند. ورودی‌های کنترل‌کننده گشتاور و موقعیت اندازه‌گیری شده مفصل‌های ربات توسط سنسورها بوده و خروجی آن گشتاور اعمالی در مفصل‌ها است [۶].



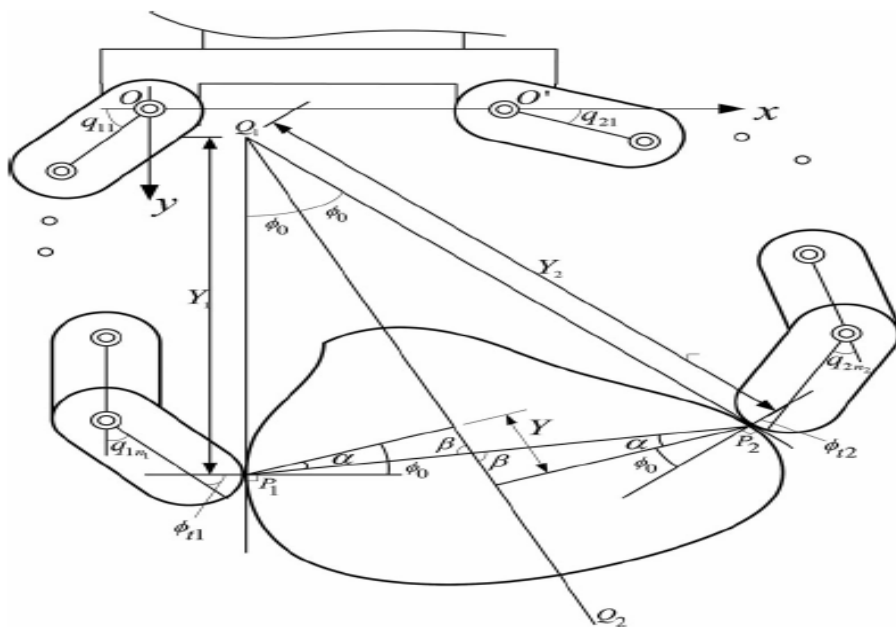
شکل (۶-۱) ربات مورد استفاده در (K. Klelnmann 1992) [۶]

در سئونگ وان سونگ^۲ برای یک ربات دارای دو انگشت سه بندی با استفاده از روش پایداری لیپانوف یک کنترل‌کننده برای گرفتن و جابه‌جایی اجسام طراحی شده است [۷]. ورودی‌های کنترل‌کننده در

^۱ K.Klelnmann

^۲ Seung Kwan Song

این مقاله شامل موقعیت جسم در راستای محورهای x و y و زاویه آن با محور افقی θ ، مشتق مقادیر θ, x, y و نیروهای تماسی و عمودی اعمال شده به جسم توسط نوک ربات می‌باشند. خروجی کنترل‌کننده نیز شش گشتاور اعمالی در مفاصل ربات توسط موتورها است. در ریم بوقدیری^۱ ابتدا یک مدل دینامیکی با استفاده از روش لاگرانژ برای یک ربات پنج انگشتی بیست درجه آزادی (سه درجه برای هر یک از انگشتان، دو درجه برای ربات شصت و شش درجه آزادی برای میچ دست) ارائه شده است. شکل (۷-۱) [۸]. سپس با ترکیب روش کنترل مشتق‌گیر-تناسبی و روش کنترل امیدانس یک کنترل‌کننده برای گرفتن و جابه‌جایی اجسام صلب در یک مسیر معین طراحی شده است. ورودی‌های کنترل‌کننده موقعیت ربات‌ها و نیروهای تماسی وارد شده به جسم توسط نوک انگشتان است و خروجی آن گشتاور مورد نیاز در ربات می‌باشد.



شکل (۷-۱) ربات مورد استفاده در سونگ [۷]

تاکنون اغلب دست‌های رباتیک چند انگشتی که جهت استفاده در عملیات مختلف و خطوط تولید، با دقت بالا طراحی و ساخته شده‌اند، در کارهای ساده و تکراری استفاده شده‌اند [۹ و ۱۰]. ارتقا مهارت و

^۱ Rim Boughdiri

چندکاره بودن مکانیزم‌های مشابه دست انسان در انجام کارهای معمولی، مساله بسیار مشکلی است. علت مشکل بودن مساله می‌تواند ناشی از ضعف دانش بشر در تبیین فیزیکی دینامیک این مکانیزم عالی و پیچیده در تعامل فیزیکی (گرفتن، جابه‌جا کردن) با اشیا و محیط باشد. راه کار مناسبی که در سال‌های اخیر برای غلبه بر مشکل بودن کنترل سیستم‌های دارای دینامیک پیچیده ارائه شده است استفاده از روش کنترل فازی می‌باشد.

۱-۲ شبکه عصبی مصنوعی

۱-۲-۱ تاریخچه

از قرن نوزدهم به طور هم‌زمان اما جداگانه از سوی نروفیزیولوژیست‌ها سعی کردند سامانه یادگیری و تجزیه و تحلیل مغز را کشف کنند و از سوی دیگر ریاضیدانان تلاش کردند تا یک مدل ریاضی بسازند که قابلیت فراگیری و تجزیه و تحلیل عمومی مسائل را دارا باشد. اولین کوشش‌ها در شبیه‌سازی با استفاده از یک مدل منطقی توسط مک کلوک و والتر پیتز انجام شد. [۱۱] که امروزه بلوک اصلی سازنده اکثر شبکه‌های عصبی مصنوعی است. این مدل فرضیه‌هایی در مورد عملکرد نورون‌ها ارائه می‌کند. عملکرد این مدل مبتنی بر جمع ورودی‌ها و ایجاد خروجی است. چنانچه حاصل جمع ورودی‌ها از مقدار آستانه بیشتر باشد اصطلاحاً نورون برانگیخته می‌شود. نتیجه این مدل اجرای توابع ساده مثل AND و OR بود. نه تنها نروفیزیولوژیست‌ها بلکه روان‌شناسان و مهندسان نیز در پیشرفت شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی تاثیر داشتند. در سال ۱۹۵۸ شبکه پرسپترون توسط روزنبلات معرفی گردید. این شبکه نظیر واحدهای مدل شده قبلی بود. پرسپترون دارای سه لایه به همراه یک لایه وسط که به عنوان لایه پیوند شناخته شده می‌باشد، است. این سامانه می‌تواند یاد بگیرد که به ورودی داده شده خروجی تصادفی متناظر را اعمال کند.

۱-۲-۲ تعریف

شبکه عصبی مصنوعی یک سامانه پردازشی داده‌ها است که از مغز انسان ایده گرفته و پردازش داده‌ها را به عهده‌ی پردازنده‌های کوچک و بسیار زیادی سپرده که به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مساله را حل نمایند [۱۲]. در این شبکه‌ها به کمک دانش برنامه‌نویسی، ساختار داده‌ای طراحی می‌شود که می‌تواند همانند نورون عمل کند که به این ساختار داده نورون گفته می‌شود. بعد با ایجاد شبکه‌ای بین این نورونها و اعمال یک الگوریتم آموزشی به آن، شبکه را آموزش می‌دهند. شبکه‌های عصبی با توانایی قابل توجه خود در استنتاج نتایج از داده‌های پیچیده می‌توانند در استخراج الگوها و شناسایی گرایش‌های مختلفی که برای انسان‌ها و کامپیوتر شناسایی آن‌ها بسیار دشوار است، استفاده شوند [۱۳]. از مزایای شبکه‌های عصبی می‌توان موارد زیر را نام برد:

- **یادگیری تطبیقی:** توانایی یادگیری اینکه چگونه وظایف خود را بر اساس اطلاعات داده شده به آن و یا تجارب اولیه انجام دهد را در واقع اصلاح شبکه یا تطبیق شبکه گویند.
- **خود سازماندهی:** یک شبکه عصبی مصنوعی به صورت خودکار سازماندهی و ارائه داده‌هایی که در طول آموزش دریافت کرده را انجام دهد. نورون‌ها با قاعده‌ی یادگیری سازگار شده و پاسخ به ورودی تغییر می‌یابد.
- **عملگرهای بی‌درنگ:** محاسبات در شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند به صورت موازی و به وسیله سخت‌افزارهای مخصوصی که طراحی و ساخت آن برای دریافت نتایج بهینه قابلیت‌های شبکه عصبی مصنوعی است انجام شود.
- **تحمل خطا:** با ایجاد خرابی در شبکه مقداری از کارایی کاهش می‌یابد ولی برخی امکانات آن با وجود مشکلات بزرگ همچنان حفظ می‌شود.
- **دسته بندی:** شبکه‌های عصبی قادر به دسته بندی ورودی‌ها بر ای دریافت خروجی مناسب می‌باشند.

- **تعمیم دهی:** این خاصیت شبکه را قادر می‌سازد تا تنها با برخورد با تعداد محدودی نمونه، یک قانون کلی از آن را به دست آورده، نتایج این آموخته‌ها را به موارد مشاهده از قبل نیز تعمیم دهد. توانایی که در صورت نبود آن سامانه باید بی‌نهایت واقعیت‌ها و روابط را به خاطر بسپارد.

- **پایداری - انعطاف پذیری:** یک شبکه عصبی هم به حد کافی پایدار است تا اطلاعات فراگرفته خود را حفظ کند و هم قابلیت انعطاف و تطبیق را دارد و بدون از دست دادن اطلاعات قبلی می‌تواند موارد جدید را بپذیرد. [۱۴]

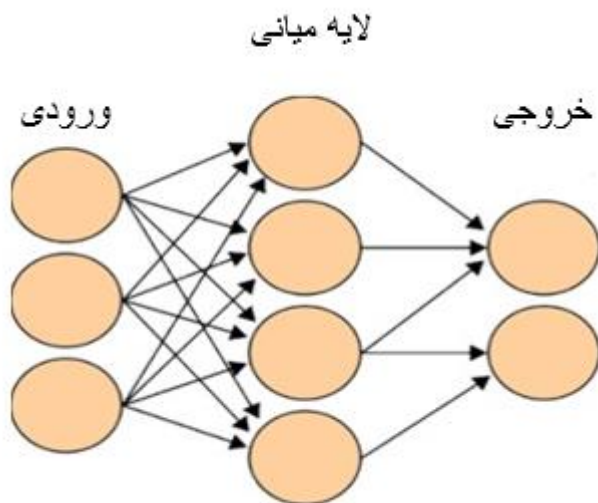
۱-۲-۳ اجزا شبکه عصبی

یک شبکه عصبی شامل اجزای سازنده لایه‌ها و وزن‌ها می‌باشد. رفتار شبکه نیز وابسته به ارتباط بین اعضا است. در حالت کلی در شبکه‌های عصبی سه نوع لایه نورونی وجود دارد:

- **لایه ورودی:** دریافت اطلاعات خامی که به شبکه تغذیه شده است.
- **لایه‌های پنهان:** عملکرد این لایه‌ها به وسیله ورودی‌ها و وزن ارتباط بین آن‌ها و لایه‌های پنهان تعیین می‌شود. وزن‌های بین واحدهای ورودی و پنهان تعیین می‌کند که چه وقت یک واحد پنهان باید فعال شود.
- **لایه خروجی:** عملکرد واحد خروجی بسته به فعالیت واحد پنهان و وزن ارتباط بین واحد پنهان و خروجی می‌باشد.

شبکه‌های تک لایه و چند لایه‌ای نیز وجود دارند که سازماندهی تک لایه که در آن تمام واحدها به یک لایه اتصال دارند بیشترین مورد استفاده را دارد و پتانسیل محاسباتی بیشتری نسبت به سازماندهی‌های چند لایه دارد. در شبکه‌های چند لایه واحدها به وسیله لایه‌ها شماره گذاری می‌شوند (به جای دنبال کردن شماره گذاری سراسری). در شکل (۱-۸) نمونه‌ی یک شبکه چند لایه با یک لایه

مخفی مشاهده می‌گردد که بیانگر ماهیت کلی ارتباط نوروها با یکدیگر است، این شبکه سه ورودی و دو خروجی دارد. [۱۵]



شکل (۱-۸) شبکه عصبی با یک لایه میانی، سه ورودی و دو خروجی

۴-۲-۱ آموزش شبکه عصبی

آموزش بدون سرپرست

وزن‌های شبکه فقط براساس ورودی‌ها اصلاح می‌شوند و خروجی مطلوب وجود ندارد تا با مقایسه خروجی شبکه با آن و تعیین مقدار خطا وزن‌ها اصلاح شود. وزن‌ها فقط براساس اطلاعات الگوهای ورودی به‌هنگام می‌شوند. هدف استخراج مشخصه‌های الگوهای ورودی براساس راهبرد خوشه‌یابی و یا دسته‌بندی و تشخیص شباهت‌ها (تشکیل گروه‌هایی با الگوی مشابه) می‌باشد، بدون این‌که خروجی یا کلاس‌های متناظر با الگوهای ورودی از قبل مشخص باشد. این یادگیری معمولاً بر پایه شیوه برترین هم‌خوانی انجام می‌گیرد. شبکه بدون سرپرست وزن‌های خود را بر پایه خروجی حاصل شده از ورودی تغییر می‌دهد تا در برخورد بعدی پاسخ مناسبی را برای این ورودی داشته باشد. در نتیجه شبکه یاد می‌گیرد چگونه به ورودی پاسخ بدهد. اصولاً هدف این است که با تکنیک نرون غالب نرونی که بیشترین تحریک آغازین را دارد برگزیده شود. بنابراین در شبکه‌های بدون سرپرست یافتن نرون

غالب یکی از مهم‌ترین کارها است.

- آموزش با سرپرست

به ازای هر دسته از الگوهای ورودی، خروجی‌های متناظر نیز به شبکه نشان داده می‌شود و تغییر وزن‌ها تا موقعی صورت می‌گیرد که اختلاف خروجی شبکه به ازای الگوهای آموزشی از خروجی‌های مطلوب در حد خطای قابل قبولی باشد. در این روش‌ها یا از خروجی‌ها به وزن‌ها ارتباط وجود دارد یا خطا به صورت پس انتشار از لایه خروجی به ورودی توزیع شده است و وزن‌ها اصلاح می‌شوند. هدف طرح شبکه‌ای است که ابتدا با استفاده از داده‌های آموزشی موجود، آموزش ببیند و سپس با ارائه بردار ورودی به شبکه که ممکن است شبکه آن را قبلاً فراگرفته یا نگرفته باشد کلاس آن را تشخیص دهد. چنین شبکه‌ای به طور گسترده برای کارهای تشخیص الگو به کار گرفته می‌شود.

- آموزش تقویتی

این نوع آموزش با برخورد و اثر متقابل عامل هوشمند و محیطی که در آن قرار دارد ایجاد می‌شود. آموزش به صورت برخط انجام می‌گیرد. یعنی پیشرفت، هر لحظه قابل مشاهده و بررسی است. آموزش تقویتی بر روی سیستم‌های فیزیکی دنیای واقعی پیاده‌سازی می‌شود. [۱۶]

۱-۲-۵ کاربرد شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای دامنه کاربرد وسیعی می‌باشند، از جمله سامانه‌های آنالیز ریسک، کنترل هواپیما بدون خلبان، آنالیز کیفیت جوشکاری، آنالیز کیفیت کامپیوتر، اکتشاف نفت و گاز، تخمین ریسک وام، شناسایی طیفی، تشخیص دارو، فرایندهای کنترل صنعتی، مدیریت خطا، تشخیص صدا، تشخیص هپاتیت، بازیابی اطلاعات راه دور، شناسایی مین‌های زیردریایی، تشخیص اشیاء سه بعدی و دست نوشته‌ها و چهره و... در کل می‌توان کاربردهای شبکه‌های عصبی را به صورت زیر دسته بندی کرد:

- تناظر (شبکه الگوهای مغشوش و به هم ریخته را بازشناسی می‌کند)
- خوشه‌یابی و دسته‌بندی
- شناسایی
- تعمیم دهی (به دست آوردن پاسخ صحیح برای ورودی که قبلاً به شبکه آموزش داده نشده است)
- بهینه‌سازی.

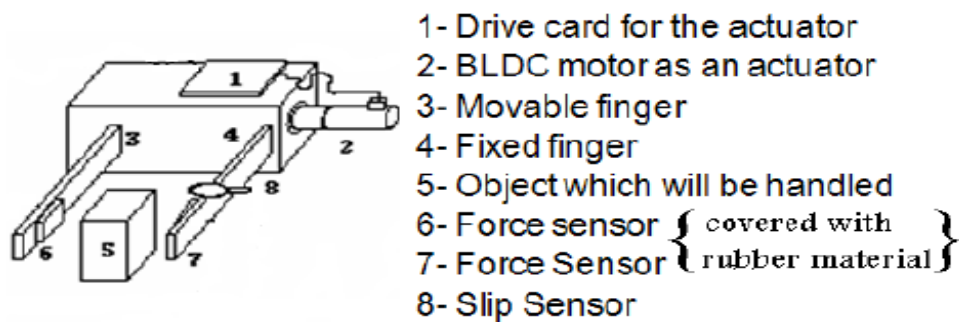
امروزه شبکه‌های عصبی در کاربردهای مختلفی نظیر مسائل تشخیص الگو که خود شامل مسائلی مانند تشخیص خط، شناسایی گفتار، پردازش تصویر و مسائلی از این دست می‌شود و نیز مسائل دسته‌بندی مانند دسته‌بندی متون یا تصاویر، به کار می‌روند [۱۷]. در کنترل یا مدل‌سازی سامانه‌هایی که ساختار داخلی ناشناخته یا بسیار پیچیده‌ای دارند نیز به صورت روزافزون از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده می‌شود. به عنوان مثال می‌توان در کنترل ورودی یک موتور (کنترل‌کننده موتور) از یک شبکه عصبی استفاده نمود که در این صورت شبکه عصبی خود تابع کنترل را یاد خواهد گرفت. کاربرد مناسب‌تر شبکه عصبی (در مقایسه با روش‌هایی از قبیل PID) برای کنترل یک سیستم دور موتور در برابر تغییرات ناگهانی بار و زمان پاسخ‌دهی نیز مطرح شده است. در این پروژه نیز از شبکه عصبی مصنوعی با قواعد نوروفازی استفاده گردیده است که بدین منظور برای آشنایی بیشتر نیاز به توضیح مدل انفیس^۱ و منطق فازی وجود دارد.

۳-۱ منطق فازی

مفهوم نظریه فازی ابتدا توسط زاده معرفی شد. و به منظور توصیف سیستم‌های پویایی که برای سنتز نمودن کنترل‌کننده‌ها با استفاده از روش‌های مدل‌سازی ریاضیاتی معمول بسیار پیچیده بوده و/ یا

^۱Anfis

بسیار بد تعریف شده‌اند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ممدانی^۱ (۱۹۷۴) نظریه مجموعه فازی^۲ را برای توسعه کنترل کننده‌های منطق فازی (FLCها)^۳ به منظور کنترل سیستم‌های پویا اعمال نموده و از آن به بعد بسیاری از محققان FLC ها را برای کاربردهای مختلف بسط داده‌اند [۱۸]. در [۱۹] زاکی^۴ با استفاده از منطق فازی یک ربات فک موازی شکل (۱-۹) برای گرفتن اشیای نامعلوم با جرم‌ها، ابعاد و ضریب اصطکاک‌های متفاوت کنترل شده است.



شکل (۱-۹) ربات فک موازی زاکی

روش کنترل فازی نیاز به مدل دینامیک دقیق سیستم ندارد و تنها با استفاده از رفتار سیستم و دانش افراد خبره قادر به کنترل سیستم می‌باشد [۲۰]. همین ویژگی این روش را برای کنترل سیستم‌های پیچیده مانند گریپر ربات مناسب نموده است. بنابراین با استفاده از روش کنترل فازی مشکل پیچیده بودن دینامیک ربات‌ها حل خواهد شد. اما مشکل دیگر عدم امکان آماده‌سازی ربات برای برهم‌کنش با شرایط و محیط پیش‌بینی نشده از قبل می‌باشد [۲۱]. یک راهکار بسیار مناسب برای غلبه بر این مشکل استفاده از روش کنترلی است که بر پایه یادگیری از طریق برهم‌کنش مجری نهایی با محیط، پارامترهای آن تنظیم شود. شبکه عصبی یکی از روش‌های موثر موجود برای یادگیری از طریق الگوهای موجود می‌باشد.

¹ Mamdani

² Fuzzy Set Theory

³ Fuzzy Logic Controllers

⁴ A.M.Zaki

هر چند که منطق فازی برای سیستم‌هایی است که تعریف مبهمی دارند، اما تئوری آن مبهم نبوده و بر عکس بسیار ساده است، منطق فازی یک نوع خاص از منطق، و ریاضیات فازی یک شاخه از ریاضیات است. اکثر سیستم‌های کنترل فازی سیستم‌هایی هستند که مدل فازی آن‌ها یا کنترلر آن‌ها براساس یک سری قوانین "اگر - آنگاه" بر پایه تجربه و دانش فرد طراح بیان می‌شود [۲۲]. اولین نوع از سیستم کنترل فازی آن است که منطق فازی مستقیماً تمام فعالیت‌های کنترلی را در دست بگیرد و کاملاً جایگزین سیستم کنترل کلاسیک شود. نوع دیگر از آن همراه سیستم کنترل کلاسیک و در کنار آن قرار می‌گیرد. به همین منظور با توجه به ساختار دینامیک بسیار پیچیده جسمی که توسط گریپر گرفته می‌شود، می‌توان با منطق فازی بر این پیچیدگی فایق آمد.

۴-۱ مدل انفیس

- نحوه ارتباط بین منطق فازی و شبکه عصبی باعث بوجود آمدن انواع مختلفی از سیستم‌ها شده است. بسیاری بر این باورند که اطلاق کلمه نوروفازی به تمامی این ترکیبات، درست نمی‌باشد؛ چراکه برخی از این ترکیبات ارتباطی تکمیلی با یکدیگر داشته و به جای هر یک از این اجزا می‌توان سیستم‌های دیگری مانند درخت تصمیم، الگوریتم تکاملی و از این دست را جایگزین نمود. به عبارتی اختصار نوروفازی به سیستم ترکیبی حاصل از شبکه عصبی و سیستم استنتاجی فازی گفته شده که در آن شبکه عصبی به عنوان تعیین‌کننده پارامترهای سیستم فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. منظور از تعیین پارامترهای سیستم فازی توسط شبکه عصبی، تعیین اتوماتیک پارامترهای فازی مانند قوانین فازی و یا توابع عضویت مجموعه‌های فازی است [۲۳]. در مقابل نوروفازی، شبکه عصبی فازی قرار دارد که در آن از منطق فازی برای بهبود عملکرد شبکه عصبی استفاده می‌شود. در این شبکه منطق فازی فرع بوده و تنها برای بهبود شرایط شبکه عصبی و یا اضافه نمودن مفهوم عدم قطعیت به شبکه

مورد استفاده قرار می‌گیرد. تقسیم‌بندی زیر نحوه ارتباط بین منطق فازی و شبکه عصبی را با توجه به این دیدگاه بیان می‌نماید [۲۴].

- Fuzzy Neural Network: منطق فازی برای بهبود کارایی شبکه و یا افزایش توان یادگیری شبکه عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شبکه‌ها افزودن قوانین فازی برای تغییر نرخ یادگیری و یا تغییر ورودی/ خروجی شبکه از حالت غیرفازی به فازی است. نمونه‌هایی از این دسته عبارتند از: FNN، FHSNN و GFNN.

- Concurrent Neuro-Fuzzy Models: شبکه عصبی و سیستم فازی بر روی یک کار واحد با یکدیگر کار می‌کنند اما تأثیری بر روی یکدیگر ندارند. هیچکدام برای تعیین پارامتر دیگری به کار نمی‌روند. معمولاً در این مدل، شبکه عصبی برای پیش پردازش ورودی و یا خروجی سیستم فازی به کار می‌رود.

- Cooperative Neuro_Fuzzy Models: شبکه عصبی برای تعیین پارامترهای سیستم فازی به کار می‌رود. این پارامترها شامل قوانین فازی، وزن قوانین و مجموعه‌های فازی است.

- Neural network-driven fuzzy reasoning systems: برخی این سیستم‌ها را جزء مدل‌های Cooperative می‌دانند. این مدل‌ها برای گسترش قوانین فازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- Hybrid Neuro_Fuzzy Models: شبکه عصبی و سیستم فازی در یک ساختار هماهنگ با یکدیگر ترکیب می‌شوند. این مدل را می‌توان شبکه عصبی با پارامتر فازی و یا یک سیستم فازی با یادگیری توزیع شده دانست. ANFIS، ANNBIFIS، NEFClass و FLEXNFIS نمونه‌هایی از این مدل می‌باشند.

همان‌گونه که در تعاریف فوق مشخص است، دو دسته عمده از ترکیبات شبکه عصبی و منطق فازی شامل شبکه‌های عصبی فازی و نوروفازی‌ها هستند. شبکه‌های عصبی فازی حاصل ترکیب شبکه

عصبی و منطق فازی بوده و نوروفازی‌ها حاصل ترکیب شبکه عصبی و سیستم فازی می‌باشند. با توجه به تعاریف بالا انفیس یک ساختار یکپارچه فازی-عصبی می‌باشد که همزمان توانایی‌های شبکه‌های عصبی و منطق فازی را داراست. بدین معناکه می‌تواند داده‌های بسیاری را در خود بگنجاند و با منطق فازی خود را آموزش دهد.

۱-۵ کنترل PID

با توجه به ماهیت قانون فازی و شبکه عصبی استنتاج این مدل را می‌توان با استفاده از هر کنترلگری استفاده نمود. اما با توجه به آنکه روش PID از ساده‌ترین کنترلرها می‌باشد به منظور اندازه‌گیری بازخورد نیرو و مکان از کنترلر PID استفاده می‌شود تا اندازه‌های نیرو و گشتاور را به صورت همزمان به اندازه‌های مطلوب برساند و جابه‌جایی‌ها نیز به کمترین مقدار ممکن برسند. البته این کنترلر حالت ترکیبی خواهد داشت و براساس نتایج حاصل از شبکه فازی-عصبی خواهد بود. به منظور ایجاد یک حلقه بسته استفاده از الگوریتم PID جز رایج‌ترین نمونه‌های الگوریتم کنترل بازخوردی است که در بسیاری از فرایندهای کنترلی نظیر کنترل سرعت موتور DC، کنترل فشار، کنترل دما و... کاربرد دارد [۲۵]. هدف از به کار بردن الگوریتم PID در کنترل حلقه بسته، کنترل دقیق و سریع خروجی سیستم تحت شرایط متفاوت و بدون دانستن دقیق رفتار سیستم در پاسخ به ورودی است. اگرچه در بسیاری از کنترل‌کننده‌ها به علت حساسیت عبارت مشتق نسبت به نویز و اجرای دشوار آن، از آن صرف نظر و کنترل را به صورت PI پیاده‌سازی می‌کنند [۲۶]. سیگنال $U(t)$ (خروجی PID) بر اساس نسبتی از خطای کنونی سیستم (عملکرد حاضر)، به اضافه مجموع خطاهای سیستم (رفتار گذشته)، به اضافه مشتق خطای کنونی (تخمین خطی رفتار آینده) محاسبه می‌شود و برای اصلاح خطا به سیستم اعمال می‌گردد. ضرایب کنترلر نیز می‌توانند با روش‌های شناخته‌شده‌ای مانند تابع انتقال به صورت بهینه محاسبه شوند، اگرچه در کاربردهای عملی، بطور رضایت بخش، این ضرایب می‌توانند با آزمون و خطا و مشاهده رفتار سیستم بطور تقریبی تعیین گردند.

۱-۶ انگیزه و ضرورت انجام پروژه

در این تحقیق به طراحی یک روش کنترلی براساس انفیس پرداخته شده است که یک ربات بتواند جسم را بصورت ایمن توسط گیره بگیرد و لغزش جسم را کنترل نموده و از سقوط جسم جلوگیری نماید. از مهمترین مواردی که این تحقیق بدان می‌پردازد ارائه روشی نوین برای کنترل ربات و همچنین مدلی جامع برای شناسایی رفتار اجسام می‌باشد. بنابراین برطبق این مدل می‌توان اجسام را به راحتی و بدون ایجاد مشکل جابه‌جا نمود. در این تحقیق برای شناسایی لغزش از قوانین فازی برای توابع فعال‌سازی در شبکه انفیس استفاده شده است. بدین منظور از یک سری داده‌های اولیه در مورد رفتار اجسام در برابر نیرو و گریپر استفاده شده است تا شبکه انفیس را بتوان آموزش داد. اساسی‌ترین بخش این تحقیق هم مربوط به ساخت مدلی نوروفازی می‌باشد که رفتار جسم را به خوبی تشخیص دهد. پس از آن بر اساس استنتاج این شبکه و گرفتن بازخوردهای مشخص از جسم با استفاده از یک مدل کنترلی مشتق‌گیر-انتگرالی-تناسبی، کنترل بر اساس مدل اسکارا شبیه‌سازی شده و نتایج آن بررسی می‌گردد. در ضمن این کنترل باید طوری عمل نماید که ربات به جسم نیروی اضافه وارد ننماید زیرا این نیروی اضافی در اجسام ظریف باعث آسیب به آن می‌شود. با توجه به کاربرد گرفتن اجسام در صنعت و به منظور پیشگیری از آسیب رسیدن به جسم در حین حمل به مدلی نوین به جهت بهینه‌سازی ربات در حمل اجسام نیاز داریم.

با توجه به آن که ربات اسکارا در این زمینه بسیار پرکاربرد است این ربات برای اعمال روش بکار رفته در این تحقیق و شبیه‌سازی مدنظر قرار گرفت. برای استنتاج روش کنترل و قوانین کنترل با توجه به قدرتمندی روش انفیس در نتیجه‌گیری از روی مشاهدات، از این مدل استفاده شده است. بنابراین در فصل دوم مدل‌سازی ربات ارائه خواهد شد و در فصل سوم به طراحی شبکه انفیس و آموزش و آماده‌سازی آن پرداخته شده است. فصل چهارم شامل ارائه مدل کنترلی و روش کنترل می‌باشد و در نهایت نتایج شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل روی آن ارائه خواهد شد.

فصل دوم

مدل سازی سینماتیکی و دینامیکی ربات اسکارا

۲ مدل‌سازی ربات

ربات‌های صنعتی از شگفتی‌های دنیای مهندسی هستند. در نظر بگیرید ربات در اندازه یک انسان را که به سادگی توانایی حمل و جابه‌جایی باری به وزن صدها کیلوگرم را به صورت بسیار سریع و با قابلیت تکرارپذیری بالا دارد. علی‌رغم امکان برنامه‌ریزی مجدد ربات‌ها، در بسیاری از کاربردها (به خصوص در صنعت خودرو) تنها با یک‌بار برنامه‌ریزی ربات، مدت‌ها یک کار ثابت را از آن انتظار دارند. گونه‌ی اسکارا از متداول‌ترین انواع ربات‌ها در صنعت به شمار می‌آیند. در این فصل، ابتدا به معرفی ربات سری اسکارا پرداخته شده و توضیحاتی در مورد آن ارائه شده است. مدل‌سازی دینامیکی برای یک زنجیره سری جهت جابه‌جایی یک جسم روی سطح قائم پرداخته شده است.

۲-۱ جایگاه ربات اسکارا^۱

ربات‌های صنعتی به دو گروه پایه متحرک و پایه ثابت تقسیم می‌شوند. ربات‌های پایه متحرک ربات‌هایی هستند که کل ربات توسط چرخ یا هر وسیله دیگری جابه‌جا می‌شوند. ربات‌های پایه ثابت همواره یکی از قسمت‌های آن به زمین جوش یا پیچ می‌شود. اکثر ربات‌های کنونی به علت آسانی ساخت، ارزان بودن و کمبود دانش کافی به صورت پایه ثابت می‌باشند [۲۷]. ربات‌ها به صورت کلی بر اساس ساختار سینماتیکی به دو دسته سری و موازی تقسیم‌بندی می‌گردند. ربات‌های سری از پست سر هم قرار گرفتن اتصالات تشکیل می‌گردد. در شکل (۲-۱) نمونه‌ای ربات پوما ۵۶۰ سری ملاحظه می‌گردد که دارای شش درجه آزادی و شش مفصل دورانی می‌باشد [۲۸].

¹ Scara



شکل (۱-۲) تصویر ربات سری پوما ۵۶۰

در شکل (۲-۲) نمونه‌ای از ربات موازی ملاحظه می‌گردد که در آن چند بازوی سینماتیکی یکسان، گاهی غیر یکسان، به یک مجری نهایی^۱ متصل گردیده‌اند. ربات گاف‌استوارت به عنوان شبیه‌ساز پرواز استفاده شده و دارای شش بازوی سینماتیکی یکسان UPS و شش درجه آزادی است [۲۹].



شکل (۲-۲) ربات گاف‌استوارت به عنوان شبیه‌ساز پرواز

ربات اسکارا نمونه بارز از ربات بردار و بگذار^۲ است و هنگامی که با یک سیستم بینایی ترکیب می‌شود

^۱ End-effector

^۲ Pick and place

می‌تواند به عنوان نمونه محصولات تولیدی را از روی تسمه نقاله برداشته و به داخل جعبه بسته‌بندی منتقل نماید؛ البته این عمل را با سرعتی بسیار بالا انجام می‌دهد. ساختمان مفصل ربات به آن اجازه می‌دهد تا نسبت به نیروهای وارده در صفحه افقی انعطاف‌پذیر (یا نرم) باشند. هم‌اکنون از ربات‌های اسکارا به خاطر این‌که سرعت زیادی دارند، در مکان‌های تولیدی گوناگونی استفاده می‌شود. می‌توان گفت مناسب کاری می‌باشد که سرعت در سه یا چهار محور نیاز دارد، همچنین صرفه اقتصادی زیادی دارد. با توجه به تعریف، ربات اسکارا یک ربات سری صنعتی پایه ثابت می‌باشد. ربات‌های سری صنعتی پایه ثابت براساس نوع سه مفصل اول، به شش دسته تقسیم می‌شوند. البته ممکن است بعضی از ربات‌ها در هیچ یک از دسته‌ها قرار نگیرند. این شش دسته‌بندی به قرار زیر می‌باشند:

- بند بند^۱ (هنرمند^۲، پوما^۳، چرخان، شبه انسان^۴)

ربات‌هایی که سه مفصل اول آن، لولایی باشد و محور مفصل دوم و سوم موازی و عمود بر محور مفصل اول باشد را ربات بندبند گویند. پیکربندی این نوع ربات بسیار شبیه دست انسان می‌باشد. در نتیجه دارای انعطاف بالایی در کار با اشیا و دستگاه‌ها می‌باشد. این ربات‌ها به علت درجه آزادی و انعطاف زیاد محبوبیت بسیاری یافتند. در شکل (۲-۳) ربات انسان‌نمای بسیار پیشرفته آسیمو^۵ ساخت شرکت هوندا^۶ دیده می‌شود [۳۰].

1 Segmentary

2 Articulated

3 PUMA

4 Humanoid

5 Asimo

6 Honda



شکل (۳-۲) ربات انسان‌نمای اسیمو - شرکت هوندا

- اسکارا^۱

ربات‌هایی که دو مفصل اول، لولایی و مفصل سوم کشویی باشد و محور سه مفصل اول، موازی باشد را ربات اسکارا گویند. در واقع ربات ساده‌ای است که می‌تواند کارهای مونتاژ را به طور مناسب و سریع انجام دهد. مزیت این ربات سرعت افقی بالا در صفحه افق آن می‌باشد و به همین علت می‌تواند در این تحقیق استفاده گردد. نمونه‌ای از این ربات در شکل (۴-۲) دیده می‌شود [۳۱].



شکل (۴-۲) ربات اسکارا ساخت شرکت میتسوبیشی

- کارتیزین (دکارتی^۲ یا گانتری^۳)

ربات‌هایی که سه مفصل اول آن، کشویی باشد و محور سه مفصل اول دو به دو بر هم عمود باشند را ربات کارتیزین گویند که شبیه استفاده از دستگاه مختصات دکارتی است. مزیت این ربات‌ها توانمندی

^۱ Selective Compliant Assembly Robot Arm

^۲ Cartesian

^۳ Gantry

و تحلیل ساده‌ی آن می‌باشد .

- استوانه‌ای (سیلندری)^۱

ربات هایی که مفصل اول آن لولایی و مفصل دوم وسوم آن کشویی باشد و محورهای مفاصل اول و دوم موازی و بر محور مفصل سوم عمود باشد را ربات استوانه‌ای گویند.

- کروی^۲

رباتی که مفصل اول و دوم آن لولایی و مفصل سوم آن کشویی باشد و محور مفصل اول بر محور مفصل دوم عمود باشد همچنین محور مفصل سوم بر محور مفصل دوم عمود باشد را ربات کروی گویند. لازم به ذکر است که محورهای مفاصل اول و سوم لزوما عمود نیستند. نمونه‌ای از ربات کروی با نام چشم چابک^۳ سه درجه آزادی در شکل (۲-۵) ارائه شده است [۳۲].



شکل (۲-۵) ربات کروی با نام چشم چابک با سه درجه آزادی

- موازی

در یک ربات موازی، مجموعه‌ای از اعضا زنجیره بسته را تشکیل می‌دهند. بطور دقیق‌تر، یک ربات

¹ Cylindrical

² Spherical

³ Agile eye

موازی از دو یا چند زنجیره سینماتیکی تشکیل شده است که مجری نهایی را به پایه ربات متصل می-کنند. سینماتیک زنجیره- بسته^۱ ربات‌های موازی باعث صلبیت بیشتر ساختار ربات و در نتیجه دقت بیشتر نسبت به ربات‌های زنجیره باز می‌شود [۳۴].

ربات اسکارا

در سال ۱۹۸۱ شرکت‌های ان‌ای‌سی^۲، پنتل^۳ و سانکیوسیکی^۴ مطلب کاملاً جدیدی را در زمینه ربات‌های مونتاژکار^۵ ارائه نمودند. یک ربات که پیشرفت اساسی در ساختار ربات‌های سری حاصل می‌نمود. این ربات با راهنمایی‌های هیروشی ماکینو^۶ که یکی از اساتید دانشگاه یاماشی^۷ بود پیشرفت کرد [۳۳]. این ربات را اسکارا نامیدند. بازوهای این ربات در راستای Z صلب بوده ولی راستای XY اجازه‌ی انطباق با سوراخ‌ها را می‌دهد.

به موجب موازی بودن محورهای اسکارا، بازو در راستای X-Y کمی انعطاف‌پذیر است، ولی در راستای Z صلب می‌باشد. به همین علت از عبارت سازگاری گزینشی^۸، استفاده شده است. این خصلت برای بسیاری از عملیات مونتاژکاری مثل یک پین گرد داخل سوراخ دایره سودمند است. خصلت دیگر ربات‌های اسکارا اتصال دو لینک در بازو، شبیه بازوی انسان است. استفاده از لغت بندبند به همین علت است. این قابلیت امکان دسترسی به مناطق محصور شده و سپس داخل شدن یا خارج شدن از آن‌ها را افزایش می‌دهد.

۲-۱-۱ ساختار ربات اسکارا

ربات اسکارا از پشت سر هم قرار گرفتن سه مفصل دورانی و یک مفصل کشویی ساخته شده است.

¹ Closed-chain

² NEC

³ Pentel

⁴ Sankyo Seiki

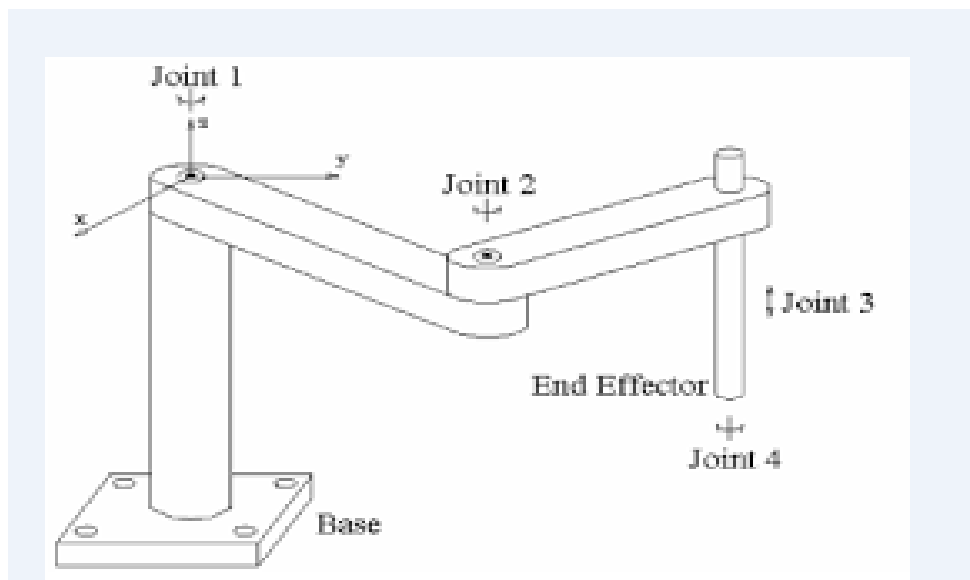
⁵ Assembly Robot

⁶ Hiroshi Makino

⁷ Yamanashi

⁸ Selective Compliant

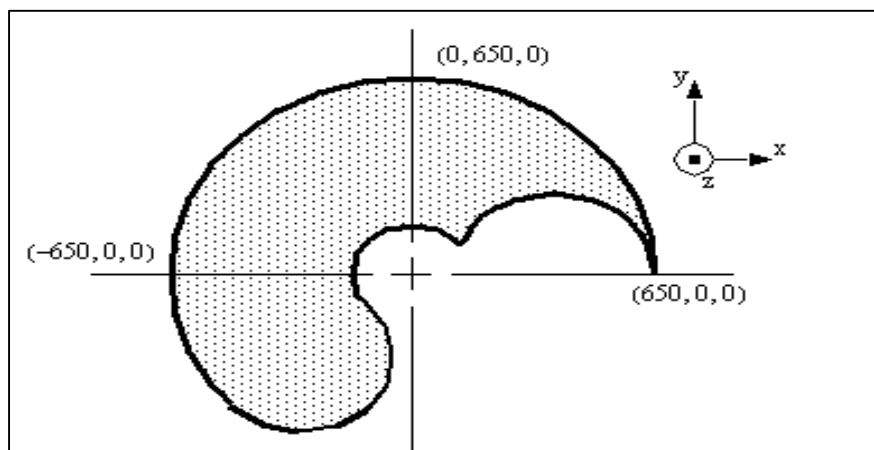
اسکارا نسبت به ربات‌های کارتزین مشابه، سریع‌تر و توانمندتر است. داشتن یک پایه و نصب آسان و بدون مانع و نیاز به فضای نصب کم از ویژگی‌های این ربات می‌باشد. در شکل (۶-۲) اتصال رابط‌های این ربات مشاهده می‌گردد. ربات اسکارا با این تعداد مفصل دارای سه درجه آزادی است که در فضا می‌تواند حرکت نماید.



شکل (۶-۲) ساختار سینماتیکی ربات اسکارا

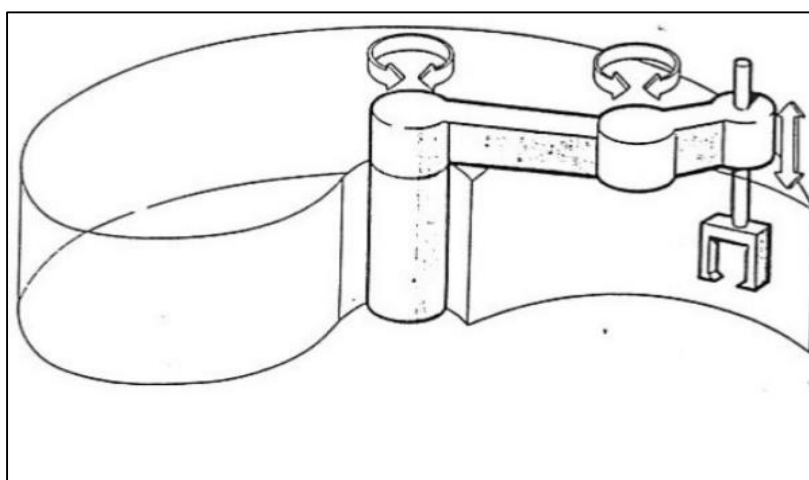
۲-۱-۲ فضای کاری ربات

فضای کاری این ربات با توجه به ساختار به سادگی به دست می‌آید. در شکل (۷-۲) نمونه‌ای از فضای کاری ربات از دید بالا ارائه شده است.



شکل (۷-۲) فضای کاری ربات اسکارا از دید بالا

همچنین اگر برای مفصل کشویی هم یک طول رفت و آمدی در نظر گرفته شود این فضا به فضای سه بعدی شکل (۸-۲) تبدیل می‌گردد. در این فضای کاری نقاط تکینگی وجود ندارد و تنها مکان‌های انتهایی فضای کاری را می‌توان نقاط تکینگی دانست. حالات دیگر تکینگی در این ربات رخ نخواهد داد. با توجه به محدودیت‌های اتصالات دورانی می‌توان فضاهای کاری دیگری نیز برای این ربات متصور بود که با توجه به ترسیم این محدودیت‌ها این فضاهای کاری به دست می‌آیند.

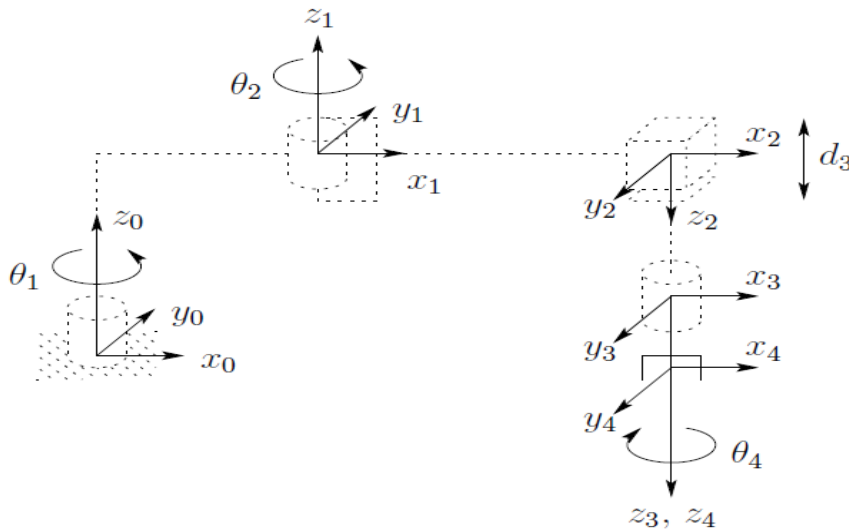


شکل (۸-۲) فضای کاری کلی سه بعدی ربات اسکارا

۳-۱-۲ پارامتر دناویت هارتنبرگ^۱

پارامترهای دناویت- هارتنبرگ (پارامترهای DH نیز نامیده می‌شود) چهار پارامتر برای اتصال فریم مرجع به لینک‌های زنجیره‌ای حرکتی فضایی، و یا کنترل ربات می‌باشد [۳۴]. برای به دست آوردن مختصات هر عضو، با استفاده از حداقل پارامترها از روش دناویت- هارتنبرگ استفاده می‌شود. جدول (۱-۲) و شکل (۹-۲) نشان‌دهنده مقادیر این پارامترها و شرایط ربات اسکارا می‌باشد.

مبدا مختصات O_i در فصل مشترک محور مفصل i ام و عمود مشترک بین محورهای مفصل i و $i+1$ واقع است. دستگاه مختصات x_i, y_i, z_i راستگرد می‌باشد. بطوری که محور x_i در امتداد عمود مشترک و محور z_i در امتداد محور مفصل $i+1$ کشیده می‌شود. محور y_i نیز به گونه‌ای انتخاب می‌شود که مختصات به دست آمده بصورت راستگرد باشد.



شکل (۹-۲) شرایط ربات اسکارا

جدول (۱-۲) پارامترهای دناویت- هارتنبرگ ربات اسکارا

^۱ DH parameters

Link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	a_1	0	0	*
2	a_2	180	0	*
3	0	0	*	0
4	0	0	d_4	*

* joint variable

در جدول (۱-۲) مقادیر پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

a_i طول عمود مشترک

d_i فاصله بین مبدا O_i و نقطه H_i

α_i زاویه بین محور مفصل i و محور Z_i در جهت مثبت راستگرد (زاویه انحراف)

θ_i زاویه بین محور X_{i-1} و عمود مشترک $H_i O_i$ که حول محور Z_{i-1} در جهت راستگرد اندازه‌گیری

می‌شود.

۲-۲ معادلات سینماتیک ربات اسکارا

سینماتیک یکی از اولین مراحل در طراحی ربات‌های صنعتی است. سینماتیک این امکان را می‌دهد تا طراح در مورد موقعیت هر یک از مؤلفه‌ها در سیستم‌های مکانیکی اطلاعات لازم را به دست آورد. این اطلاعات لازم برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی در دینامیک و کنترل مورد نیاز است. به بیان دیگر سینماتیک مطالعه تحلیلی هندسه حرکت ربات، نسبت به یک محور مختصات ثابت می‌باشد. سینماتیک در دو حالت مستقیم و معکوس بررسی می‌گردند. اگر به دست آوردن پارامترها از فضای مفاصل به سمت عملگر نهایی باشد، به آن سینماتیک مستقیم و اگر از سمت عملگر نهایی به سمت مفاصل باشد به آن سینماتیک معکوس می‌گویند. در ربات‌های پیچیده تعداد جواب‌های مساله سینماتیک و یا اساساً جواب داشتن آن بسیار مهم می‌باشد.

توسط سینماتیک مستقیم و با استفاده از متغیرهای مفاصل ربات، می‌توان موقعیت و جهت مجری

نهایی ربات را تعیین کرد. در تحلیل سینماتیک مستقیم و معکوس از تحلیل بازوهای مکانیکی ماهر^۱ کمک گرفته می‌شود. متغیرهای مفاصل ربات در مفاصل لولایی (چرخان)، زاویه بین رابطها و در مفاصل کشویی (لغزشی)، اضافه طول رابط هستند.

۱-۲-۲ سینماتیک مستقیم ربات

در سینماتیک مستقیم موقعیت و جهت لینک ها و ابزار ربات بصورت تابعی از متغیرهای مفصلها نسبت به محور مرجع محاسبه می‌شود. برای اینکار دستگاه‌های مختصاتی به هر بخش از مکانیزم ربات وصل شده و سپس ارتباط بین این محورها بیان می‌شود. ربات اسکارا از یک بازوی سری با ۴ درجه آزادی تشکیل شده است که ساختار آن بصورت $RRPR^2$ است. معادلات سینماتیک مستقیم این بازو به صورت معادله (۱-۲) است [۳۴]:

$$\begin{aligned} X &= d_2 \times \cos(\theta_1 + \theta_2) + d_1 \times \cos(\theta_1) \\ Y &= d_2 \times \sin(\theta_1 + \theta_2) + d_1 \times \sin(\theta_1) \\ Z &= P \end{aligned} \quad (1-2)$$

با مشتق گرفتن از رابطه (۱-۲) می‌توان به رابطه سرعت در فضای کار و مفاصل دست یافت.

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{P} \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

که در رابطه (۲-۲) J ماتریس ژاکوبین است.

با توجه به شکل معادله (۲-۲) در حالت سینماتیک مستقیم یک جواب برای مساله وجود دارد.

۲-۲-۲ سینماتیک معکوس ربات

سینماتیک معکوس اشاره به استفاده از سینماتیک مستقیم معادلات یک ربات برای تعیین موقعیت

¹ Mechanical Manipulator

² Revolute- Revolute- Prismatic- Revolute

مورد نظر در فضای مفاصل می‌باشد.

با توجه به نتایج مرحله قبل و با استفاده از رابطه (۲-۲) داریم :

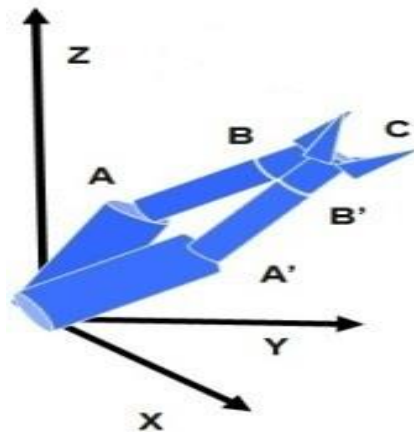
$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{P} \end{bmatrix} = J^{-1} \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} \quad (۴-۲)$$

با ساده سازی و به دست آوردن مقادیر زوایا خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \text{atan}(X - d_1 \sin(\theta_2), Y - d_1 \cos(\theta_2)) \\ \theta_2 &= \text{atan}(d_2 \sin(\theta_2), d_2 \cos(\theta_2)) \\ P &= Z \end{aligned} \quad (۵-۲)$$

۳-۲-۲ تعداد پاسخ‌های مساله سینماتیک و افزونگی

با توجه به معادلات بالا می‌تواند دید که مساله سینماتیک معکوس می‌تواند دو جواب داشته باشد که برای زوایای دوران مختلف می‌باشد. در شکل (۱۰-۲) علت وجود چندین جواب تبیین شده است [۳۵].



شکل (۱۰-۲) علت وجود چند جواب در دو مفصل اول ربات اسکارا

با توجه به شکل بالا برای نقطه یکسان C می‌توان جواب‌های متفاوت A, A' را متصور شد که به همین دلیل دارای دو جواب متفاوت برای سینماتیک معکوس ربات اسکارا خواهد بود.

۲-۳ دینامیک

در بخش دینامیک هدف یافتن رابطه‌ای بین نیروهای وارد بر مکانیزم ربات و پارامترهای سینماتیکی آنها است. بدین معنی که در نهایت فرم دیفرانسیلی معادلات حرکت را برای تحلیل‌های بعدی استخراج می‌نماید. همانند سینماتیک، دینامیک نیز در دو حالت مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- دینامیک مستقیم^۱: با توجه به نیروها، شتاب‌ها را می‌یابیم.
 - دینامیک معکوس^۲: با توجه به مقادیر شتاب‌ها، نیروها به دست می‌آید.
- دینامیک مستقیم عمدتاً برای شبیه‌سازی دینامیکی استفاده می‌شود. اما دینامیک معکوس کاربردهای مختلف دارد که از جمله آنها می‌توان به کاربرد در خط کنترل حرکات ربات، طراحی مسیر و بهینه‌سازی اشاره نمود.
- مسائل مورد توجه در حل مساله دینامیک عبارتند از:
- محاسبه ضرایب معادله حرکت.
 - شناسایی پارامتر اینرسی (برآورد پارامترهای اینرسی یک مکانیزم ربات از اندازه‌گیری رفتار دینامیکی)
 - دینامیک ترکیبی (یافتن نیروها و شتاب ناشناخته، با توجه به نیروها در برخی از مفاصل)

۲-۳-۱ تحلیل دینامیکی مساله مورد مطالعه

معادله حرکت برای یک ربات را می‌توان به صورت زیر نوشت [۳۶]:

$$\tau = H(q)\ddot{q} + c(q, \dot{q}, f_{ext}) \quad (۲-۶)$$

در این رابطه، q ، \dot{q} ، \ddot{q} و τ به ترتیب عبارتند از بردار موقعیت، سرعت، شتاب مفاصل و گشتاور

^۱ Forward dynamic

^۲ Inverse dynamic

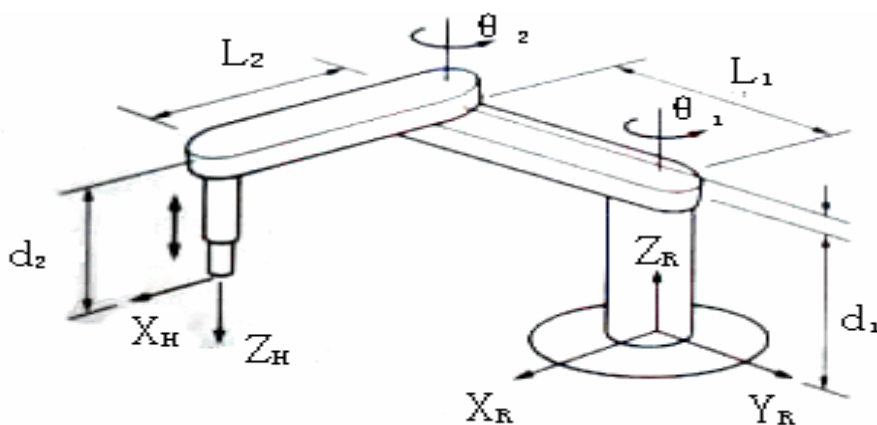
اعمالی به مفاصل می‌باشد. مقدار f_{ext} نشان‌دهنده یک نیروی خارجی وارد بر ربات، به دلیل تماس با محیط است، در مساله حاضر در حقیقت همان نیرویی می‌باشد که باید به جسم وارد گردیده تا بتوان آن را در موقعیت خاصی نگاه دارد. تابع H فضای ماتریس اینرسی نامیده می‌شود و ماتریس $N \times N$ متقارن و مثبت معین است. C هم بردار ترم‌های ثقلی و کوریولیس می‌باشد. انرژی جنبشی ربات را می‌توان به صورت رابطه (۷-۲) نوشت:

$$T = \frac{1}{2} \dot{q}^T H \dot{q} \quad (۷-۲)$$

معادله‌ی دینامیکی که بیشتر برای اهداف کنترل ربات مورد استفاده قرار می‌گیرد به صورت رابطه (۲-۸) نوشته می‌شود [۳۴]:

$$\tau = H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + \tau_g(q) + J(q)^T f_{ext} \quad (۸-۲)$$

که در آن $\tau_g(q)$ بردار نیروهای گرانشی، $C(q, \dot{q})\dot{q}$ بردار ترم‌های گریز از مرکز و کوریولیس و $J(q)^T f_{ext}$ در حالت کلی نیروهای خارجی بر مفاصل ربات می‌باشد، با توجه به معادلات (۲-۶)، (۲-۷)، (۲-۸) می‌توان معادلات جسمی که توسط ربات کنترل می‌شود و معادلات ربات را به دست آورد. در شکل (۲-۱۱) ترم‌های وارد در دینامیک ربات مشاهده می‌شود.



شکل (۲-۱۱) شکل ربات اسکارا جهت مدل‌سازی دینامیکی

به جهت بررسی دقیق‌تر مساله فرض‌های ذیل برای سیستم مورد مطالعه در نظر گرفته شده است:

- سطح مقطع اجسام گرفته شده یکنواخت بوده به نحوی که در اثر لغزش سطح مقطع ناحیه گرفته شده تغییر نمی کند.

- ضریب اصطکاک جسم و ربات نامشخص اما محدوده آن معلوم است.

- جسم گرفته شده صلب است اما تماس ربات و جسم بصورت الاستیک خطی در نظر گرفته می شود. این خاصیت الاستیک می تواند مجموعه ای از انعطاف پذیری موجود در ربات و یا سطح تماس باشد که نهایتاً بعنوان یک فنر معادل سازی شده است.

- نیروی اصطکاکی و عمودی بین جسم و ربات توسط سنسورهای لامسی تعبیه شده در ربات قابل اندازه گیری و یا محاسبه است.

- ضریب اصطکاک بین جسم و ربات در دو طرف یکسان است.

با توجه به فرض های فوق و با استفاده از روش لاگرانژ، می توان معادلات ربات و جسم را برای مساله

تعریف شده به دست آورد. معادله دینامیکی ربات اسکارا با معادله (۲-۹) بیان می شود [۳۷]:

$$T-J(q)^T f_{ext} = M(q) \ddot{q} + H(q) \quad (۲-۹)$$

نیروی عمودی اعمالی بر جسم N_L و N_R می باشند. لازم بذکر است نیروی f_{ry} و f_{ly} جسم از طرف فک های چپ و راست هستند. در ضمن با توجه به فرض حرکت متقارن سیستم، تنها سه درجه آزادی X_0 ، Y_0 و Z_0 را برای جسم در نظر می گیریم، زیرا در این حالت با توجه به فرض های مساله، جسم فاقد چرخش در نظر گرفته شده است.

بنابراین معادلات حرکت جسم را می توان بصورت معادله (۲-۱۰) نمایش داد.

$$\begin{bmatrix} m & . & 0 \\ . & m & 0 \\ 0 & 0 & . \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_L - N_R \\ 2F_y \\ 2F_z - w \end{bmatrix} \quad (۲-۱۰)$$

که در معادله فوق، F_y نشان دهنده مولفه نیروی اصطکاکی اعمالی بر هر یک از سطوح سمت چپ و راست جسم در راستای محورهای Y و Z هستند. پارامترهای m و w معرف جرم و وزن جسم هستند. برای حل معادله (۲-۹) و (۲-۱۰) با توجه به تعداد بیشتر مجهولات نیاز به معادلات دیگری است که

در ادامه ارائه می‌شوند. لازم به ذکر است این معادلات تکمیلی، برای به دست آوردن پارامترهای نیرویی خواهند بود، لذا در ادامه ابتدا معادلاتی را برای به دست آوردن نیروی عمودی به دست آمده و سپس به تشریح روش به دست آوردن نیروهای اصطکاکی پرداخته شده است. برای محاسبه نیروی عمودی با توجه به فرض تقارن معادله زیر را خواهیم داشت:

$$N_l = N_r = N = k_e \times \delta \quad (11-2)$$

در رابطه فوق k_e سختی معادل برای انعطاف‌پذیری سیستم مورد مطالعه بوده و δ که بیانگر میزان فشردگی سطح فک در فرآیند گرفتن است توسط رابطه (11-2) ارائه می‌شود.

باتوجه به اینکه هدف مساله نگهداری جسم با اعمال حداقل نیرو است و با توجه به اینکه جسم در معرض مانورهای مختلف قرار می‌گیرد وضعیت‌های مختلف حرکتی بین جسم و رباتها ایجاد می‌شود. این وضعیت‌ها شامل رهایی جسم، آستانه لغزش بین جسم و رباتها، لغزش بین آنها و در نهایت عدم لغزش بین جسم و رباتها می‌باشند. لازم بذکر است نیروی اصطکاکی ایجاد شده در هر کدام از این وضعیت‌ها متفاوت خواهد بود.

$$\delta = x_l - x_r - b \quad (12-2)$$

در معادله (12-2) مقدار x_l و x_r موقعیت سینماتیکی و b عرض جسم بوده است.

۲-۳-۲ روابط نیروهای تعاملی در فازهای مختلف حرکتی

همان‌طور که بیان گردید نیروی تعاملی شرایط متفاوتی را در حالت‌های مختلف به دست خواهد آورد و بنابراین می‌بایست به نحوه به دست آوردن آنها در هر حالت اشاره شود، لذا وضعیت‌های مختلف تماسی بین جسم و گریپر را باید دسته بندی نمود. که در متابع [۲ و ۳] فارسی آورده شده است.

- لغزش در نقاط تماس

در صورت لغزش در نقاط تماس سرعت نسبی جسم نسبت به گریپر مخالف صفر خواهد بود که این شرط را می‌توان بصورت زیر بیان نمود:

$$|\mathbf{V}_r| = |\dot{y}_r \mathbf{i} + \dot{z}_r \mathbf{j}| > 0 \quad (13-2)$$

در رابطه فوق V_r سرعت نسبی فکها نسبت به جسم و \dot{y}_r, \dot{z}_r به ترتیب مولفه‌های آن در راستای y, z می‌باشند. لازم به ذکر است \dot{y}_g, \dot{z}_g مولفه‌های سرعت فکها در راستای y, z می‌باشند. شرط فوق به معنی وجود لغزش بین جسم و فک بوده و در نتیجه برآیند نیروهای اصطکاکی در هر سطح با استفاده از رابطه اصطکاک کولمبی یعنی μN به دست می‌آید که در دو طرف جسم برابر خواهد بود. حال برای این که بتوان مولفه‌های نیروی اصطکاکی را در جهات y, z به دست آورد باید به این نکته توجه کرد که به علت وجود سرعت نسبی بین جسم و فکها، راستای نیروی اصطکاکی و سرعت نسبی در هر سمت هم ارز می‌باشد، لذا می‌توان مولفه‌های نیروی اصطکاک را با توجه به راستای مولفه‌های سرعت نسبی به دست آورد. بنابراین با توجه به اینکه $\dot{z}_r = \dot{z}_g + \dot{z}_o, \dot{y}_r = \dot{y}_g + \dot{y}_o$ می‌باشند، می‌توان مولفه‌های نیروی اصطکاکی را در راستاهای y و z با معادلات زیر نمایش داد.

$$f_y = \frac{-\dot{y}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} |\mu N|$$

$$f_z = \frac{-\dot{z}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} |\mu N| \quad (14-2)$$

- عدم لغزش

در حالتی که نیروی عمودی کافی جهت مهار جسم توسط فکها اعمال شود، شتاب جسم با شتاب فکها برابر شده و در نتیجه حرکت فکها مستقیماً به جسم اعمال می‌شود. بنابراین در این وضعیت دو قید زیر بر رفتار سیستم حاکم خواهد بود.

$$y_0 = y_g$$

$$z_0 = z_g \quad (15-2)$$

لذا با توجه به برقراری قیود فوق می‌توان شتاب جسم را به دست آورده و با لحاظ فرض تقارن در سیستم، معادلات حرکت جسم را برای به دست آوردن نیروهای اصطکاکی بکار برد.

- آستانه لغزش

اگر شرط $|\mathbf{V}_r| = |\dot{y}_r \mathbf{i} + \dot{z}_r \mathbf{j}| = 0$ و $|\mathbf{a}_r| = |\ddot{y}_r \mathbf{i} + \ddot{z}_r \mathbf{j}| \neq 0$ برقرار باشد علی‌رغم سرعت نسبی صفر بین جسم و گریپر مجموع نیروهای اعمالی بر جسم از ظرفیت اصطکاکی در نقاط تماس بیشتر شده و با ایجاد یک شتاب نسبی، جسم را در آستانه لغزش قرار می‌دهد. در این وضعیت نیز رابطه اصطکاک کولمبی برای محاسبه نیروی اصطکاکی برقرار خواهد بود با این تفاوت که جهت و راستای آن با توجه به اینکه سرعت نسبی صفر است تابعی از شتاب جسم نسبت به فک‌ها خواهد بود. با توجه به این‌که اندازه برآیند نیروی اصطکاکی در هر سطح برابر μN است، می‌توان نیروهای اصطکاکی f_z و f_y را با توجه به راستای شتاب نسبی بصورت زیر تعریف کرد:

$$f_y = \frac{\ddot{y}_r}{\sqrt{\ddot{y}_r^2 + \ddot{z}_r^2}} |\mu N|$$

$$f_z = \frac{\ddot{z}_r}{\sqrt{\ddot{y}_r^2 + \ddot{z}_r^2}} |\mu N| \quad (۱۶-۲)$$

با توجه به اینکه فاز آستانه لغزش مرزی است بین فاز لغزش و عدم لغزش می‌توان این فاز را معادل با فاز عدم لغزش و یا لغزش فرض نمود، لذا هر دو دسته معادلات در فازهای فوق برای فاز آستانه لغزش نیز صادق خواهند بود و می‌توان مجهولات در معادلات دینامیکی را به صورت کامل به دست آورد. در جدول (۲-۲) نحوه محاسبه مقادیر با توجه به رابطه‌ها به صوت خلاصه آورده شده است.

جدول (۲-۲) جدول مربوط به نحوه محاسبه اصطکاک بر اساس وضعیت جسم در فرآیند لغزش در منبع فارسی [۴]

نیروی اصطکاک یا رابطه سینماتیکی مورد نیاز	شرایط تعویض بین موده‌های حرکت	مود حرکت
$f_y = \frac{-\dot{y}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} |\mu N|$ $f_z = \frac{-\dot{z}_r}{\sqrt{\dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2}} |\mu N|$	$|\mathbf{V}_r| = |\dot{y}_r \mathbf{i} + \dot{z}_r \mathbf{j}| \neq 0$	لغزش
$\mathbf{y}_0 = \mathbf{y}_g$ $\mathbf{z}_0 = \mathbf{z}_g$	$|\mathbf{V}_r| = |\dot{y}_r \mathbf{i} + \dot{z}_r \mathbf{j}| = 0$ و $|\mathbf{a}_r| = |\ddot{y}_r \mathbf{i} + \ddot{z}_r \mathbf{j}| \neq 0$	آستانه لغزش
$f_y = \frac{\ddot{y}_r}{\sqrt{\ddot{y}_r^2 + \ddot{z}_r^2}} |\mu N|$ $f_z = \frac{\ddot{z}_r}{\sqrt{\ddot{y}_r^2 + \ddot{z}_r^2}} |\mu N|$	$|\mathbf{V}_r| = |\dot{y}_r \mathbf{i} + \dot{z}_r \mathbf{j}| = 0$ و $|\mathbf{a}_r| = |\ddot{y}_r \mathbf{i} + \ddot{z}_r \mathbf{j}| = 0$	عدم لغزش

در نهایت دینامیک ربات و جسم توسط معادلات روابط ربات و جسم و یکی از روابط فاز ۱ یا فاز ۲ و یا فاز ۳ بیان می‌شود. که این معادلات برای کاربرد در مبحث کنترل مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

فصل سوم

گرفتن جسم در صفحه توسط گریپر با استفاده از کنترلر بر پایه انفیس

۳ طراحی شبکه عصبی فازی تطبیقی^۱ و طراحی کنترل

این فصل شامل طراحی کنترلر تناسبی- مشتقگیر- انتگرالگیر براساس شبکه عصبی فازی برای گرفتن جسم توسط گریپر با کمترین لغزش می‌باشد. در این فصل، ابتدا به طراحی ساختار شبکه عصبی پرداخته شده و توضیحات تکمیلی در مورد آن ارائه شده است. برای آموزش شبکه عصبی دو راه کلی وجود دارد که با نظارت^۲ و یا بدون نظارت^۳ می‌باشد. با توجه به آن که معادلات حاکم بر دینامیک سیستم وجود دارد حدود ۲۰۰ حالت متفاوت برای جسم در نظر گرفته شده و مقادیر لازم برای نیروها و جابه‌جایی‌ها محاسبه شده است و براساس آن شبکه آموزش لازم را دیده است. با توجه به آن که می‌بایست از منطق فازی در فعال‌سازی هر یک از نورون‌ها استفاده شود، برای هر نورون قاعده فازی مربوط به آن را وارد نموده تا براساس داده‌های مجموع تصمیم‌گیری نماید. بنابراین در ادامه شاهد شکل‌گیری مدل شبکه عصبی با منطق و قوانین فازی خواهیم بود. پس از آن شبکه آموزش داده می‌شود و مراحل آزمون را طی می‌نماید. در مرحله بعد کنترلر طراحی شده و براساس دینامیک سیستم و بازخورد حرکت جسم^۴ مقادیر مورد نظر توسط کنترلر، ردیابی^۵ می‌شود.

۳-۱ طراحی شبکه عصبی - فازی تطبیقی

سیستم‌های فازی، سیستم‌های مبتنی بر دانش یا قواعد^۶ می‌باشند. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد "اگر و آنگاه" فازی تشکیل شده است. یک قاعده "اگر و آنگاه" فازی عبارتی است که بعضی کلمات آن بوسیله توابع متعلق پیوسته مشخص شده‌اند. در ادامه چند مثال برای تبیین این قاعده آمده است.

¹ ANFIS

² supervised

³ unsupervised

⁴ feedback

⁵ track

⁶ Knowledge – based or Rule – Based System

مثال ۱) اگر سرعت اتومبیل بالا است ، آنگاه نیروی کمتری به پدال گاز وارد شود.

کلمات بالا و کم توسط یک سیستم فازی از مجموعه‌ای از قواعد " اگر- آنگاه " فازی ساخته می‌شود .

مثال ۲) طراحی کنترلی که سرعت اتومبیل را بطور خودکار کنترل کند.

به طور کلی دو راه حل برای طراحی چنین کنترل کننده‌ای وجود دارد، یک راه حل، استفاده از

کنترل کننده‌های متعارف بوده و راه حل دوم ، شبیه‌سازی رفتار رانندگان است. راننده در شرایط

طبیعی از سه قاعده زیر در حین رانندگی استفاده می‌کند :

۱) اگر سرعت پایین است ، آنگاه نیروی بیشتری به پدال گاز وارد کنید .

۲) اگر سرعت متوسط است ، آنگاه نیروی متعادلی به پدال گاز وارد کنید .

۳) اگر سرعت بالا است ، آنگاه نیروی کمتری به پدال گاز وارد کنید .

کلمات « کمتر » و « بیشتر » « متعادل » ، « متوسط » « بالا » « پایین » به وسیله توابع تعلق

مشخص می‌شوند . البته لازم به ذکر است که در شرایط واقعی تعداد قواعد بیشتری نیاز خواهد بود.

به طور خلاصه ، نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی به دست آوردن مجموعه‌ای از قواعد " اگر و

آنگاه " فازی از دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی می‌باشد . مرحله بعدی ترکیب این قواعد

در یک سیستم واحد است. سیستم‌های فازی مختلف از اصول و روش‌های متفاوتی برای ترکیب این

قواعد استفاده می‌کنند. در سال‌های اخیر از ترکیب منطق فازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی،

سیستم‌های فازی- عصبی به وجود آمده‌اند. یک شبکه تطبیقی، یک ساختار پیشرو چند لایه است که

رفتار کلی خروجی آن به وسیله مقدار یک مجموعه از پارامترهای قابل اصلاح تعیین می‌گردد. به

عبارت دیگر ساختار شبکه تطبیقی شامل یک مجموعه از گره‌های متصل به هم است که به طور

مستقیم به هم مرتبط شده و در آن هر گره یک واحد پردازش محسوب می‌شود. این سیستم‌ها،

مشکل اصلی در طراحی سیستم‌های فازی (به دست آوردن قواعد " اگر- آنگاه " در سیستم فازی) را

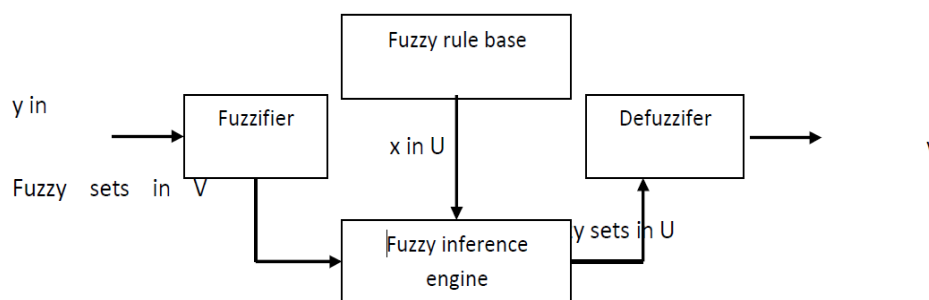
به وسیله تولید خودکار این قواعد و بهینه‌سازی پارامترها، حل نموده‌اند.[۳۸]

سیستم‌های فازی معمولاً براساس نحوه نگارش قوانین فازی به دو گروه متفاوت تقسیم می‌گردند:[۳۹]

(۱) سیستم های فازی خالص^۱

(۲) سیستمهای فازی تاکاگی سوگنو^۲

ساختار اصلی یک سیستم فازی خالص در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. پایگاه قواعد فازی مجموعه‌ای از قواعد "اگر و نگاه" را نشان می‌دهد. به عنوان مثال برای کنترل کننده اتومبیل در مثال قبلی، پایگاه قواعد فازی شامل قواعد ارایه شده مربوطه می‌باشد.



شکل (۱-۳) ساختار اصلی یک سیستم فازی خالص

مشکل اصلی در رابطه با سیستم‌های فازی خالص این است که ورودی‌ها و خروجی‌های آن مجموعه‌های فازی می‌باشند. در حالی که در سیستم مورد مطالعه این پروژه، ورودی‌ها و خروجی‌ها متغیرهایی با مقادیر حقیقی می‌باشند. برای حل این مشکل، تاکاگی سوگنو و کانگ^۳ نوع دیگری سیستم فازی معرفی کرده‌اند که ورودی‌ها و خروجی‌های آن متغیرهایی با مقادیر واقعی هستند. این سیستم‌های فازی از یک سو نداشت‌هایی به صورت چند ورودی و خروجی از یک بردار با مقادیر حقیقی به یک اسکالر با مقدار حقیقی بوده که روابط دقیق ریاضی این نداشت‌ها را می‌توان به دست آورد و از سویی دیگر سیستم‌های فازی، سیستم‌های مبتنی بر دانش بوده که از روی دانش بشری به شکل قواعد "اگر و نگاه" ساخته می‌شوند. جنبه مهم تئوری این سیستم‌های فازی این است که یک فرآیند

¹ Pure fuzzy

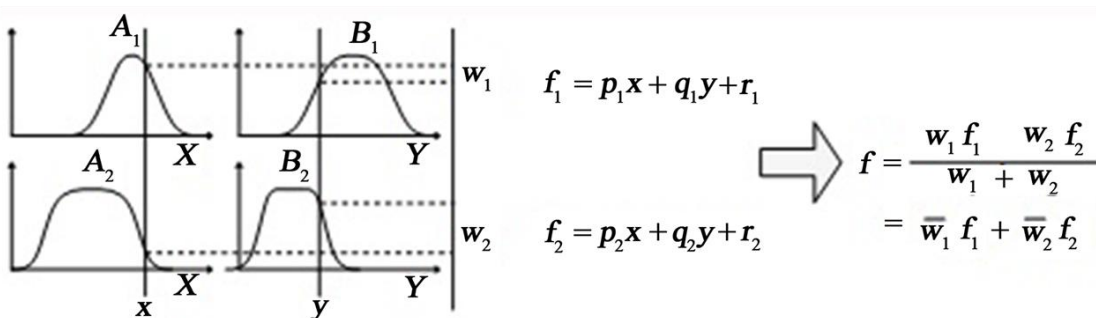
² Takagi sugeno

³ Kung

سیستماتیک برای تبدیل یک پایگاه دانش به یک نگاشت غیرخطی فراهم می‌سازد [۴۰].

۳-۱-۱ سیستم فازی سوگنو

متداول‌ترین سیستم‌های عصبی فازی یک سیستم فازی سوگنو^۱ را در یک ساختار عصبی اجرا می‌کند. این سیستم برای فرآیند آموزش از ترکیبی از روش‌های آموزش پس‌انتشار^۲ خطا و کمینه مربعات^۳ خطا بهره‌گیری می‌کند. در این تحقیق از روش پس‌انتشار خطا و شکل سوگنو استفاده شده است. در لایه اول نوع تابع عضویت و تعداد آن مشخص می‌شود. برای این منظور در لایه اول دو روش تفکیک شبکه‌ای و تفکیک خوشه‌ای جهت کلاسه‌بندی داده‌ها وجود دارد. انواع توابع موجود در این شبکه شامل مثلثی^۴، گوسی^۵، گوسی نوع دو^۶، زنگوله‌ای^۷ می‌باشد. [۴۱-۴۲] مدل فازی عصبی تطبیقی بر اساس تغییر در میزان مقادیر مرکز و دامنه توابع تعلق در تکرارهای مختلف جهت رسیدن به شبکه مناسب براساس حداقل خطای موجود عمل می‌کند. معماری معمول سیستم ANFIS استنتاج فازی سوگنو در شکل (۲-۳) ارائه شده است.

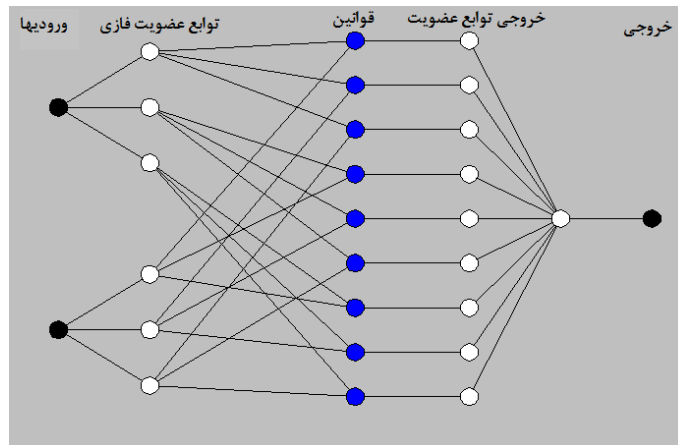


شکل (۲-۳) استنتاج فازی سوگنو

در شکل (۲-۳) دو تابع فازی به همراه دو ورودی که براساس توزیع A و B منجر به تشکیل توابع عضویت می‌شود که بر اساس اوزان w به دست آمده می‌توان نتیجه نهایی را برای یک داده X,Y به

¹ Sugeno
² back propagation
³ Least square
⁴ Trimf
⁵ Guassmf
⁶ Guasstwomf
⁷ Gbellmf

دست آورد. همچنین شکل کلی شبکه عصبی به صورت شکل شماره (۳-۳) می‌تواند مراحل تشکیل قوانین فازی و گرفتن خروجی از شبکه را نشان دهد که جلوتر این قوانین دقیق فازی نگارش شده‌اند.



شکل (۳-۳) شکل کلی شبکه عصبی و فازی طراحی شده بر اساس دو ورودی و یک خروجی

مجموعه فازی

مجموعه فازی براساس تابع عضویت تعریف می‌شود که تصویر مجموعه فراگیر در بازه [صفر و یک] است. هر یک از اعضا درجه عضویت دارند. مجموعه فازی از تعمیم و عمومیت دادن تئوری مجموعه‌های کلاسیک ایجاد شده است. در تئوری مجموعه‌های کلاسیک، عضویت اعضا در یک مجموعه به صورت جملات باینری^۱ براساس شرط دودویی تعیین می‌شوند. یک عضو یا به مجموعه تعلق دارد یا ندارد. در حالی که در تئوری فازی درجات نسبی عضویت اعضا در مجموعه مجاز است [۴۳].

عضو پشتیبان^۲

اعضایی از مجموعه اصلی که برای آن‌ها درجه عضویت غیر صفر، براساس تابع عضویت تعیین می‌گردد و در واقع حامی و پشتیبان مجموعه فازی‌اند.

کانون^۱

^۱ Binary

^۲ Supportive member

اعضایی از مجموعه اصلی اند که برای آن‌ها درجه عضویت براساس تابع عضویت برابر "یک" ارزش‌دهی می‌شوند.

مجموعه مساوی یا تراز^۲

مجموعه‌ای که درجات عضویت آن با درجات عضویت مجموعه موردنظر برابر است.

زیرمجموعه

مجموعه‌ای که تمامی درجات عضویت آن از درجات عضویت مجموعه موردنظر کمتر است.

تفاوت مجموعه کلاسیک و مجموعه فازی

دلیل اصلی تقسیم‌بندی مجموعه کلاسیک و مجموعه فازی با وجود تشابهات خاص، عدم تبعیت بعضی از قوانین است:

- در تئوری مجموعه فازی توابع عضویت بکار می‌رود.
- اشتراک مجموعه با متمم آن خالی نیست.
- اجتماع مجموعه با متمم آن برابر با یک مجموعه کل نیست.

تابع عضویت

تابع عضویت یک مجموعه فازی، تعمیم یافته تابع مشخصه در مجموعه‌های کلاسیک است. در منطق فازی این تابع نشان‌دهنده درجه حقیقت به عنوان بسطی از ارزیابی است. درجه حقیقت معمولاً با احتمالات اشتباه گرفته می‌شود گرچه این‌ها دو مفهوم جداگانه هستند زیرا حقیقت فازی نشان‌دهنده عضویت در مجموعه‌هایی است که به طور مبهم تعریف شده‌اند و نه احتمال رخداد یا شرایطی خاص. تابع عضویت در اولین مقاله مجموعه‌های فازی توسط لطفی زاده معرفی گردید. برای هر مجموعه X ، تابع عضویت مجموعه X تابعی است از X نسبت به بازه $[0, 1]$ ، توابع عضویت X بیانگر زیرمجموعه

¹ focus

² balance

فازی X است. تابع عضویت مجموعه فازی \hat{A} معمولاً بصورت μ_A نمایش داده می‌شود. برای هر عنصر x از X ، مقدار μ_A درجه عضویت x در مجموعه فازی \hat{A} نامیده می‌شود. درجه عضویت μ_A بیانگر میزان عضویت عنصر x به مجموعه فازی \hat{A} است. اگر درجه عضویت یک عنصر از مجموعه برابر با صفر باشد، آن عضو کاملاً از مجموعه خارج است و اگر درجه عضویت یک عضو برابر با یک باشد، آن عضو کاملاً در مجموعه قرار دارد. حال اگر درجه عضویت یک عضو ما بین صفر و یک باشد، این عدد بیانگر درجه عضویت تدریجی می‌باشد.

فرم‌های توابع عضویت

در حالت نمایش دوبعدی، در محور افقی عضو مربوطه و در محور عمودی مقدار حاصل از تابع عضویت نمایش داده می‌شوند. نمونه‌هایی از توابع عضویت در شکل (۳-۴) آورده شده‌اند و بطور کلی انواع توابع عضویت بصورت زیر تقسیم بندی می‌گردند:

- انواع نقطه‌ای

- انواع خطی (شکل کلی آن برگرفته از اشکال چندضلعی هندسی است)

تابع عضویت چندضلعی منقطع

تابع عضویت ذوزنقه‌ای

تابع عضویت مستطیلی

تابع عضویت مثلث

تابع عضویت L شکل

تابع عضویت S شکل

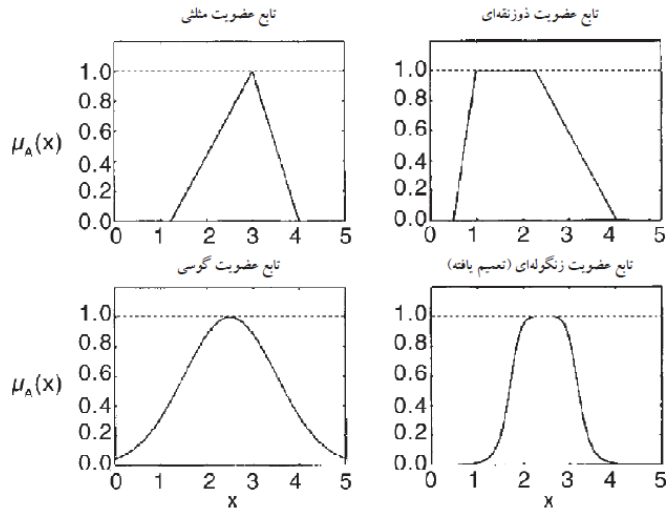
- انواع غیر خطی (شکل کلی آن برگرفته از اشکال زنگوله‌ای است)

تابع عضویت گاوس

تابع عضویت پی (چپ یا راست)

تابع عضویت L شکل

تابع عضویت S شکل



شکل (۳-۴) نمونه‌هایی از توابع عضویت

روابط در توابع عضویت

اعمال ریاضی در این مجموعه‌ها کاملاً شبیه به روابط ریاضی در بحث آمار و احتمالات است که برخی از آن‌ها به عنوان نمونه در ادامه آورده شده است [۴۳]:

- اجتماع

اگر A ، B دو مجموعه دلخواه باشند، اجتماع A ، B برابر است با ماکزیمم تابع عضویت مجموعه A ، B و آن‌را به صورت $\mu(A \cup B)(x)$ نشان داده می‌شود:

$$\mu(A \cup B)(x) = \max(\mu A(x), \mu B(x)) \quad (۱-۳)$$

- اشتراک

اگر A ، B دو مجموعه دلخواه باشند آن‌گاه اشتراک آن‌ها برابر است با مینیمم تابع عضویت مجموعه A ، B و آن‌را به صورت $A \cap B$ نشان می‌دهند.

$$\mu(A \cap B)(x) = \min(\mu A(x), \mu B(x)) \quad (۲-۳)$$

اگر S یک مجموعه باشد و A زیر مجموعه‌ای از آن باشد. آنگاه متمم مجموعه A حاصل کسر تمام اعضای A از یک است و آن را با \bar{A} یا $\mu_{\bar{A}}(x)$ نشان می‌دهند و توسط رابطه (۳-۳) بیان می‌شود:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3-3)$$

انتخاب توابع عضویت

برای انتخاب توابع عضویت معمولاً راه حل جامع تحلیلی وجود ندارد و بیشتر از روی نحوه توزیع داده و سعی و خطا^۱ می‌توان به بهترین تابع عضویت دست یافت. با توجه به آن که در تحقیق حاضر تفاوت زیادی در انتخاب انواع تابع عضویت مشاهده نگردید، آن‌ها به صورت ساده‌ترین حالت ممکن و مثلی انتخاب شده‌اند.

۳-۱-۲ نگارش قوانین شبکه عصبی فازی

با توجه به آن که در این تحقیق دو ورودی مقدار لغزش و اصطکاک سطح به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی در نظر گرفته شده‌اند و خروجی آن‌ها نیز مقدار نیروی وارد شده از طرف فک گیرنده می‌باشد، بنابراین قوانین فازی در این قسمت برای هر یک از ورودی‌ها نسبت به خروجی باید نگارش شوند. این توابع عضویت بر اساس روش ممدانی^۲ نگارش شده‌اند که به صورت رابطه (۴-۳) می‌باشد [۴۴]:

$$F = \frac{\sum_1^n \theta_i \prod_1^p \mu_{F_i}(x_i)}{\sum_1^n \prod_1^p \mu_{F_i}(x_i)} \quad (4-3)$$

که در آن n تعداد قوانین و p تعداد ورودی‌های شبکه می‌باشد. بعلاوه θ_i مرکز ثقل توابع عضویت، μ_{F_i} بیان‌گر درجه عضویت x_i در تابع و F خروجی نهایی شبکه فازی می‌باشد. این شبکه دارای پنج لایه می‌باشد که لایه اول ورودی‌ها، لایه دوم شامل توابع عضویت تصمیم براساس ورودی‌ها است. در

¹ Trial and error

² Mamdani

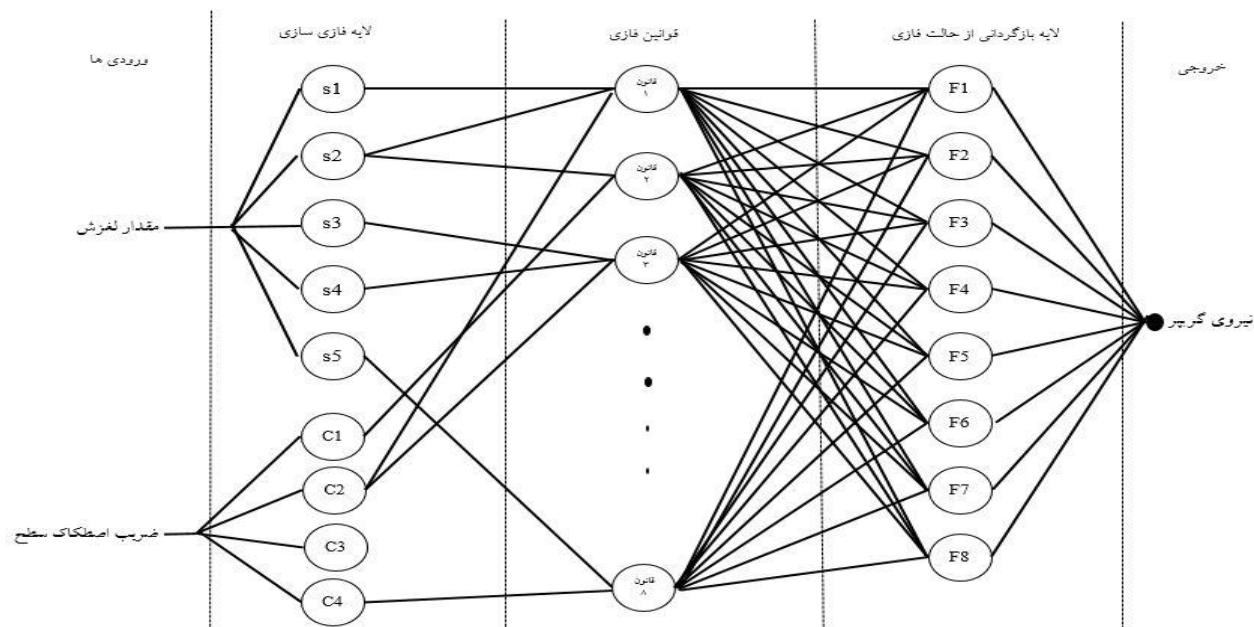
لایه سوم توابع فعال‌سازی وجود دارند که مانند بسیاری از منابع [۴۵ و ۴۶ و ۴۷] در این تحقیق نیز توابع تانژانت هیپربولیک به عنوان فعال‌ساز انتخاب شده‌اند. در لایه چهارم عکس عمل لایه دو و مشخص نمودن مقادیر واقعی حاصل از تخصیص توابع عضویت محاسبه شده و نهایتاً خروجی سیستم حساب می‌گردد. [۳۰] در شبکه عصبی ورودی نورون توسط رابطه (۳-۵) بیان می‌گردد:

$$I_i = \sum_{j=k}^n w_{ij} y_j \quad (۵-۳)$$

که در رابطه فوق w_{ij} ضریب وزنی بین نورون j و نورون i می‌باشد و خروجی نرون j با y_j نشان داده می‌شود. خروجی نورون نیز توسط رابطه (۳-۶) بیان می‌گردد:

$$y_i = \sum_{j=k}^n f(I_i) \quad (۶-۳)$$

با توجه به مطالب ارائه شده و برای نگارش قوانین فازی و محاسبه، می‌توان مدل دقیق‌تر شبکه فازی عصبی را به صورت شکل (۳-۵) نمایش داد. در این شکل دو ورودی اصطکاک سطح و لغزش جسم به عنوان ورودی شبکه مشخص شده‌اند و براساس قوانین جدول (۳-۱)، لایه دوم، خروجی خود را به لایه سوم می‌دهد. پس از عبور از مرحله محاسبات در لایه چهارم، مقدار خروجی از حالت فازی خارج شده و به خروجی نهایی داده می‌شود و براساس آن مدل کنترلر به کار خود ادامه می‌دهد.



شکل (۳-۵) مدل حاصل از دو ورودی و یک خروجی برای شبکه عصبی فازی

با توجه به مدل و تقسیم بندی مقدار لغزش به پنج ناحیه و مقدار ضریب اصطکاک به چهار ناحیه در جدول (۳-۱) شرایط کاهش و افزایش تغییرات نیرو تبیین شده است. براساس مدل، داده‌های حساب شده ضریب اصطکاک به دسته‌های سطح خشن^۱ (Br)، زبر^۲ (Ro)، معمولی^۳ (Co) و لیز^۴ (Sl) دسته‌بندی شده و هم‌چنین مقدار لغزش به صورت خیلی زیاد (HH)، زیاد (H)، متوسط (M)، کم (L) و خیلی کم (LL) دسته‌بندی شده است. این قوانین در جدول (۳-۱) ارائه شده‌اند که براساس تقسیم اصطکاک به چهار دسته و نیرو به پنج دسته می‌باشد که تعداد این تقسیم‌بندی‌ها براساس دست یافتن به دقت مطلوب و به صورت تجربی می‌باشد.

همان‌طور که از جدول (۳-۱) مشخص است، هشت حالت متفاوت برای تغییرات مقدار نیرو در خروجی منطق فازی در نظر گرفته شده است که براساس آن مقدار تغییرات نیرو از درجه بسیار زیاد به درجه بسیار کم می‌رسد. این گستره بسیار زیاد با توجه به آن که نیرو مهم‌ترین و تنها

¹ brusque
² rough
³ common
⁴ slippy

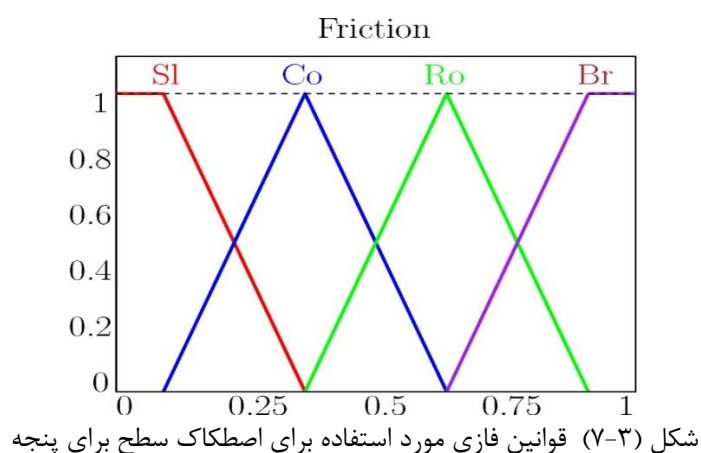
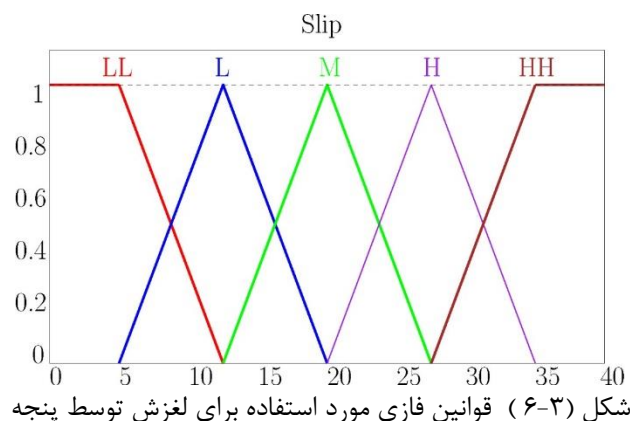
بخش کنترل در گریپر است، ایجاد شده است.

با توجه به مطالب گفته شده در قسمت قبل توابع عضویت برای ورودی لغزش در شکل (۳-۶) و برای ورودی اصطکاک سطح در شکل (۳-۷) آمده است. این توابع بر اساس قوانین جدول (۲-۲) به دست آمده‌اند و مقادیر آن‌ها به جهت انجام محاسبات دقیق‌تر نرمال‌سازی^۱ شده‌اند.

جدول (۳-۱) جدول مربوط به قوانین فازی نگارش شده برای نیرو و اصطکاک

شماره	اصطکاک سطح	مقدار لغزش	شرایط کاهش یا افزایش تغییرات نیرو
۱	خشن	خیلی زیاد	متوسط رو به کم
۲	خشن	زیاد	کم
۳	خشن	متوسط	کم
۴	خشن	کم	بسیار کم
۵	خشن	خیلی کم	بسیار بسیار کم
۶	زبر	خیلی زیاد	زیاد
۷	زبر	زیاد	متوسط رو به زیاد
۸	زبر	متوسط	متوسط رو به کم
۹	زبر	کم	کم
۱۰	زبر	خیلی کم	کم
۱۱	معمولی	خیلی زیاد	بسیار زیاد
۱۲	معمولی	زیاد	زیاد
۱۳	معمولی	متوسط	زیاد
۱۴	معمولی	کم	متوسط رو به زیاد
۱۵	معمولی	خیلی کم	متوسط رو به کم
۱۶	لیز	خیلی زیاد	بسیار بسیار زیاد
۱۷	لیز	زیاد	بسیار زیاد
۱۸	لیز	متوسط	زیاد
۱۹	لیز	کم	زیاد
۲۰	لیز	خیلی کم	متوسط رو به زیاد

^۱ normalized



۳-۱-۳ آموزش و تست شبکه

با توجه به قوانین فازی ارائه شده و تشکیل پنج لایه، شبکه آموزش داده می‌شود. برای آموزش شبکه حدود دویست داده براساس روابط فصل پیش محاسبه شده و داده‌ها برای هر یک از مشخصات جسم و نیرو به شبکه داده می‌شود. برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی از الگوریتم بهینه‌سازی لوونبرگ-مارکارد^۱ استفاده شده است.

الگوریتم لوونبرگ-مارکارد

الگوریتم لوونبرگ-مارکارد روشی است برای یافتن کمینه یک تابع غیر خطی چند متغیره که به عنوان یک روش استاندارد برای حل مساله کمینه مربعات برای توابع غیرخطی آمده است. [۴۹] این الگوریتم در بسیاری مواقع، حتی اگر بسیار دورتر از کمینه نهایی شروع کرده باشد، جواب را پیدا می‌کند. از

^۱ Levenberg-Marquardt

دیگر سو، برای تابع‌های خوش‌رفتار و پارامترهای آغازین معقول، کمی کند است. به‌علاوه از پرترفدارترین الگوریتم برازش خم است و کاربران کمی ممکن است به روش‌های دیگر برازش خم نیاز پیدا کنند.

فرض کنید m تابع f_1, \dots, f_m از n پارامتر p_1, \dots, p_n که $n > m$ داده شده‌اند. مساله کمترین مربعات شامل جستن بردار پارامترهای \mathbf{P} است که برای آن تابع هزینه زیر کمینه شود:

$$S(\mathbf{P}) = \mathbf{f}^T \mathbf{f} = \sum_{i=1}^m [f_i(\mathbf{P})]^2 \quad (7-3)$$

مانند سایر الگوریتم‌های کمینه‌سازی عددی، الگوریتم لوببرگ-مارکارد یک رویه تکراری است. برای شروع کمینه‌سازی، کاربر باید یک حدس آغازین برای بردار \mathbf{P} پارامترها ارائه کند. در هر گام تکرار، بردار \mathbf{P} پارامترها با یک تخمین جدید $\mathbf{P} + \mathbf{Q}$ جایگزین می‌شود. برای دستیابی به \mathbf{P} توابع با خطی‌سازی به شکل زیر تخمین زده می‌شوند:

$$\mathbf{f}(\mathbf{P} + \mathbf{Q}) \approx \mathbf{f}(\mathbf{P}) + \mathbf{J}\mathbf{Q} \quad (8-3)$$

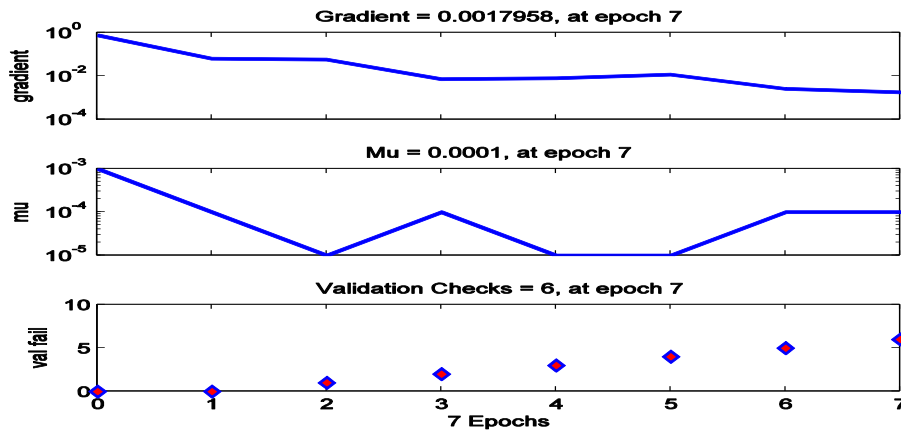
که \mathbf{J} ژاکوبین \mathbf{f} نسبت به \mathbf{P} است. در یک کمینه مجموع مربعات S ، داریم $\nabla_{\mathbf{q}} S = 0$ با خطی‌سازی طبق رابطه (8-3)، شرط معادله (9-3) قابل استحصال می‌باشد:

$$(\mathbf{J}^T \mathbf{J}) \mathbf{q} = -\mathbf{J}^T \mathbf{f} \quad (9-3)$$

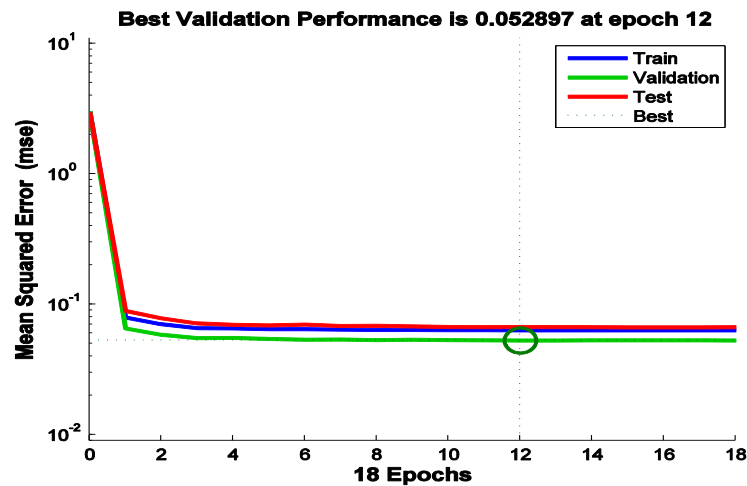
اگر یک طول قدم بازیابی شده یا کاهش مجموع مربعات برای آخرین مجموعه پارامترهای \mathbf{P} از مقادیر از پیش تعیین شده کمتر باشند تکرار پایان می‌یابد و آخرین بردار پارامتر \mathbf{P} به عنوان جواب در نظر گرفته می‌شود [50].

با استفاده از این روش در آموزش شبکه تعداد 5٪ داده‌ها به عنوان مرحله تست استفاده می‌شود و نهایتاً حدود 10 داده جدید به شبکه داده خواهد شد تا بتوان به طور مشخص در مورد توانایی شبکه حاصل اظهار نظر نمود. با توجه به این موارد شبکه حاصل دارای مشخصات شکل (8-3) و (9-3) است. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است، در آموزش داده‌ها در سری هفتم خطای قابل قبول به

دست آمده و پس از آن در بهترین ارزیابی در دوازدهمین تکرار اتفاق می افتد.



شکل (۳-۸) ارزیابی مدل برای فرآیند آموزش داده‌ها

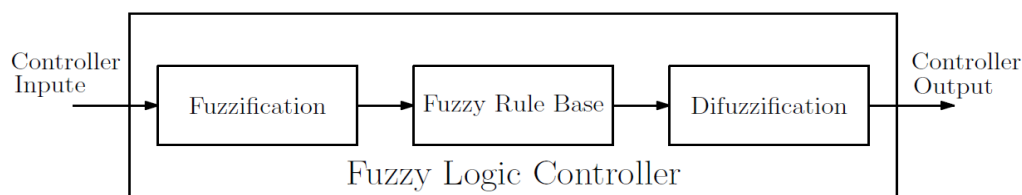


شکل (۳-۹) همگرایی شبکه برای آموزش، آزمون و ارزیابی شبکه

۳-۲ طراحی کنترلر

یکی از مسائل پایه‌ای در بررسی ربات‌ها، وادار نمودن آن‌ها در دنبال کردن یک مسیر از پیش تعریف شده برای مجری نهایی می‌باشد. هرچند بسیاری از کاربردهای صنعتی نیاز به تماس مجری نهایی ربات با محیط دارند، اما در ابتدایی‌ترین مرحله یک ربات باید توانایی حرکت دقیق در فضا را داشته باشد و بتواند در فاصله‌ای معین از اجسام قرار گیرد. روش‌های عمده کنترل یک ربات عمدتاً به دو

حالت بدون نیاز به مدل و بر پایه مدل تقسیم‌بندی می‌شوند. همان‌گونه که از اسم این دسته‌ها نیز مشخص است، در گروه اول نیازی به استخراج هیچ مدلی نیست و با استفاده از آن به کنترل یک ربات پرداخته می‌شود که از جمله معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به کنترل‌کننده تناسبی - مشتق‌گیر - انتگرال - گیر اشاره نمود. در گروه دیگر به مدل سینماتیکی و دینامیکی ربات نیاز است. در این تحقیق از روش کنترل تناسبی - مشتق‌گیر - انتگرال‌گیر استفاده شده است که بر مبنای خروجی شبکه عصبی کار می‌کند و در حقیقت می‌توان مدل کنترلی را به صورت شکل (۳-۱۰) نمایش داد [۵۱].



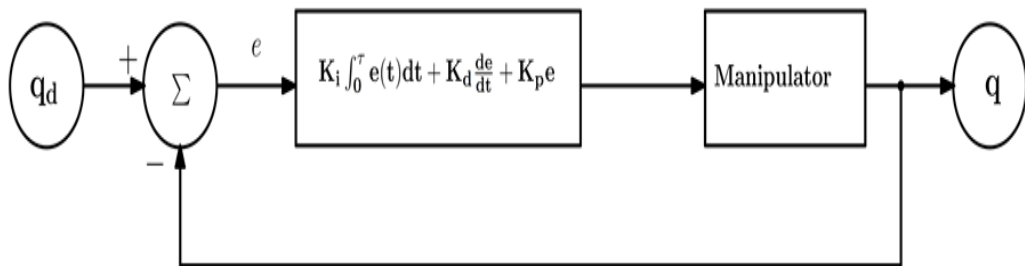
شکل (۳-۱۰) شماتیک کنترلر فازی

۳-۲-۱ کنترلر تناسبی مشتق‌گیر انتگرال‌گیر

کنترل‌کننده PID تاریخچه‌ای طولانی از زمان ارائه آن در سال ۱۹۴۲ توسط زیگلر و نیکلز [۵۲] دارا می‌باشد. کنترلر PID یک مکانیزم با بازخورد حلقه بسته است، که به طور گسترده‌ای در صنعت، نظیر تنظیم سرعت، دما، جریان، فشار و سایر پروسه‌های متغیر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کنترل‌کننده براساس مقدار خطای بین خروجی فرآیند و مقدار ورودی مطلوب عمل می‌کند. هدف کنترلر تلاش برای به حداقل رساندن خطا با تنظیم ورودی‌های کنترل فرآیند است. در کنترل‌کننده PID ضریب موقعیت، K_p ، در مورد خطاهای لحظه فعلی قضاوت می‌کند، ضریب انتگرال، K_i ، تاثیر خطاهای گذشته را جبران می‌کند و ضریب مشتق، K_d ، هم به عنوان یک عامل پیش‌بین خطا در زمان‌های آینده عمل می‌کند. ویژگی بارز و برجسته کنترل‌کننده PID در سادگی و مفهوم فیزیکی ساده آن نهفته است، که مخصوصاً در صنعت نسبت به سیستم‌های کنترلی پیچیده ارجح می‌باشد. کنترل‌کننده PID می‌تواند در زمینه کنترل ربات‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد. همان‌گونه که در

شکل (۱۱-۳) نمایش داده شده، چرخه کنترلی PID با استفاده از موقعیت فعلی شی، q و موقعیت مطلوب شی، q_d ، که در این تحقیق با استفاده از ماتریس‌های ضرایب کنترلی K_p ، K_v ، K_i ، مقدار نیروی مربوط به عملگرهای ربات محاسبه می‌شود.

از مزایای این روش کنترلی در کنترل ربات‌ها، عدم نیاز به مدل دینامیکی می‌باشد. این در حالی است که این سیستم کنترلی دارای دقت بالایی نمی‌باشد و در شرایطی که خواسته‌های ویژه‌ای در کنترل مسیر با دقت بالا نیاز باشد و یک سیستم کنترلی پیچیده‌تر مزایای قابل توجه‌ای نسبت به کنترل کننده PID ارائه دهد، قابل جایگزین شدن است.



شکل (۱۲-۳) شماتیک مدلسازی کنترلی به روش PID

۲-۲-۳ محاسبات کنترلر

فرم استاندارد کنترلر PID به صورت رابطه (۱۰-۳) است [۲۵]:

$$u(t) = k \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (10-3)$$

که در آن $e(t)$ خطای حاصل از مقدار مطلوب و مقدار واقعی می‌باشد و به عنوان ورودی به کنترلر داده می‌شود و $u(t)$ خروجی کنترلر است. همچنین با در نظر گرفتن تبدیل لاپلاس، عبارت (۱۰-۳) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$G(s) = k \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \quad (11-3)$$

همچنین روش دیگری برای نمایش فرم کلی کنترلر PID موجود است که با رابطه (۱۲-۳) بیان می‌شود:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (12-3)$$

لاپلاس رابطه (12-3) به صورت رابطه (13-3) به دست می‌آید:

$$G(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + s k_d \quad (13-3)$$

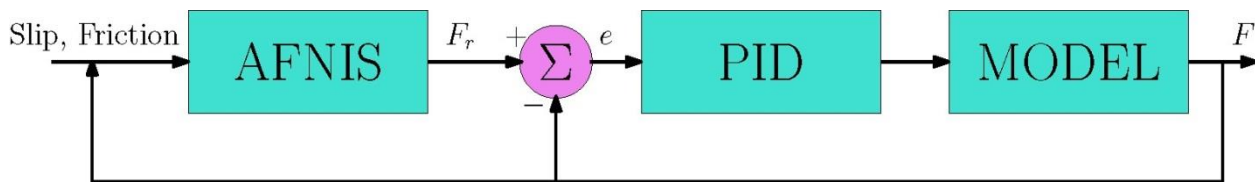
در رابطه فوق می‌توان $k_p = k$ و $k_i = \frac{k}{T_i}$ و $k_d = k T_d$ را در نظر گرفت.

تنظیمات PID برای گرفتن یک پاسخ مناسب اغلب چالش برانگیز است. به خصوص برای کسانی که مهارت زیادی ندارند. روش‌هایی به عنوان خودتنظیم‌کننده، وجود دارند که در این تحقیق از روش زیگلر-نیکلز¹ برای تنظیم پارامترها استفاده شده است.

۳-۳ پیاده‌سازی مدل نهایی

با توجه به آنچه در قسمت قبل بیان شد، می‌توان مدل اصلی و بلوک دیاگرام کنترلر را به

صورت آنچه که در شکل (12-3) آمده است ترسیم نمود.



شکل (12-3) بلوک دیاگرام مدل کنترلی

در این بلوک دیاگرام در ابتدا انفیس با توجه به اطلاعات حاصل از جسم مقادیر مناسب نیرو در گریپر را محاسبه می‌نماید. در این مرحله مقادیر ضرایب اصطکاک و مقدار لغزش به انفیس، لحظه به لحظه گزارش می‌شود و خروجی آن به صورت نیرو مرجع به کنترلر داده شده و سپس محاسبات کنترلر

¹ Ziegler-Nichols

بر اساس خطا انجام می‌شود. تا به نیروی مورد نظر برای کنترل جسم برسیم.

۳-۳-۱ نتایج و شبیه‌سازی

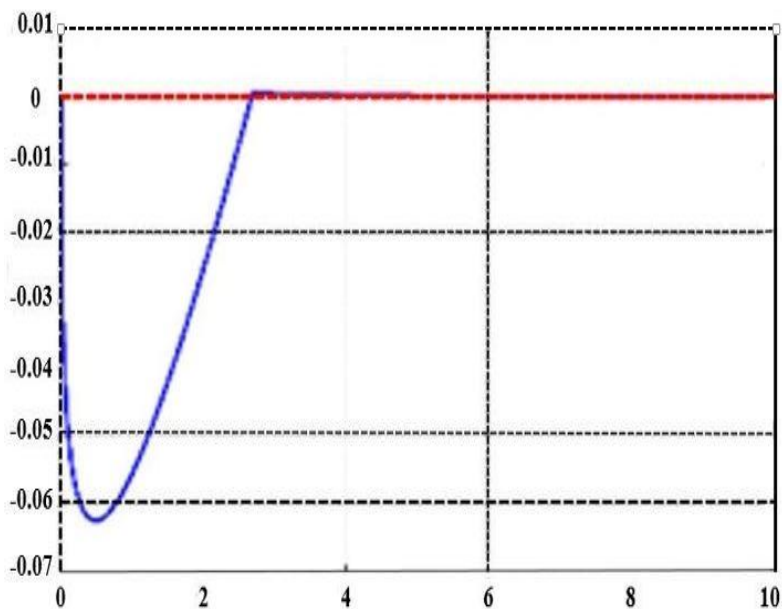
برای شبیه‌سازی و مقایسه، پارامترهای یکسان با سایر مقالات در نظر گرفته می‌شود. در جدول (۳-۲) مقادیر پارامترهای مورد نیاز در شبیه‌سازی آمده است.

جدول (۳-۲) شرایط پیاده سازی کنترلر

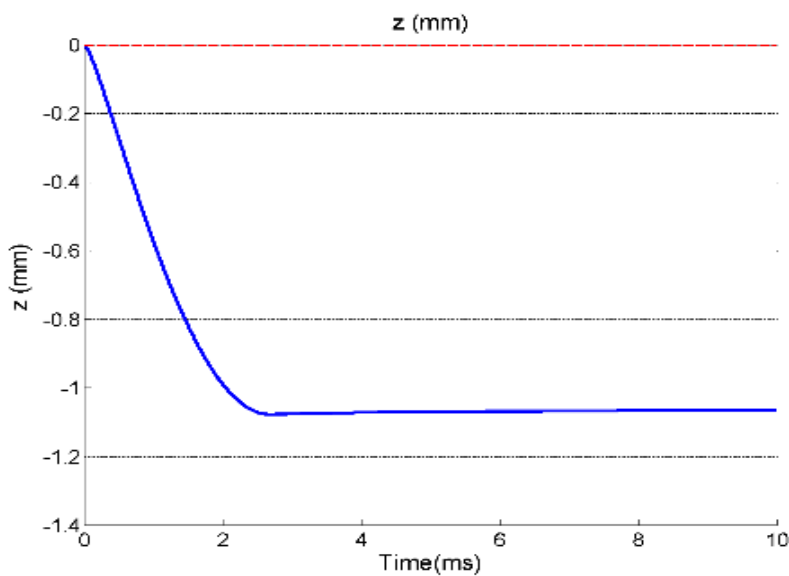
$m = 1kg$	جرم جسم
$I_o = 0.004kgm^2$	ممان اینرسی جرم
$\mu_{l,r} = 0.4$	ضریب اصطکاک دو سطح
$I_i = 0.004kgm^2$, $i = 1,2$	ممان اینرسی اعضا
$b = 0.1m$	عرض جسم
$k_e = 10000N/m$	سختی معادل سیستم

در این قسمت از شبیه‌سازی هیچ حرکت از پیش تعریف شده‌ای برای گریپر در نظر گرفته نشده است، لذا در این حالت جسم تنها به خاطر اثر وزن خود در راستای Z حرکت کرده و هدف مورد نظر در اینجا جلوگیری از لغزش جسم بصورت ایمن می‌باشد. بدین منظور کنترلر بایستی گریپر را به سمت جسم حرکت داده تا نیروی عمودی مناسب برای مهار لغزش جسم ایجاد شود.

نتایج شکل (۳-۱۳) که بیانگر سرعت در جهت Z است، مشخص می‌نماید که جسم در ابتدای حرکت به خاطر اثر وزن جسم دچار لغزش شده است. لازم به ذکر است این لغزش در حوالی $t=3$ میلی‌ثانیه به پایان رسیده و جسم توسط گریپر مهار می‌شود. مقدار این لغزش مطابق شکل (۳-۱۴) حدود ۱.۱ میلی‌متر می‌باشد. به طور خلاصه نتایج شکل نشان می‌دهند که کنترلر قادر به مهار جسم بوده و از ادامه لغزش آن جلوگیری می‌نماید.



شکل (۳-۱۳) تغییرات سرعت در راستای Z در تست کنترلر

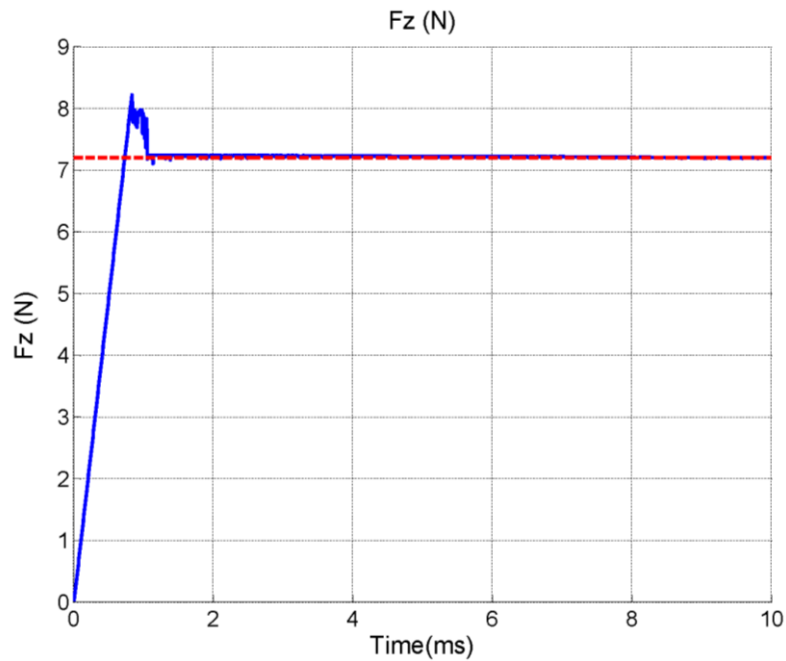


شکل (۳-۱۴) تغییرات ارتفاع در راستای Z در تست کنترلر

نتایج شکل (۳-۱۵) تغییرات نیروی اصطکاکی را نشان می‌دهد که گریپر برای ایجاد نیروی عمودی و مهار لغزش در راستای عمود بر سطح یعنی جهت X حرکت کرده و فشردگی لازم را در سیستم ایجاد نموده است، لازم به ذکر است در شکل آمده مقادیر مرجع و مقادیر به دست آمده تقریباً انطباق بسیار خوبی بر روی همدیگر دارند.

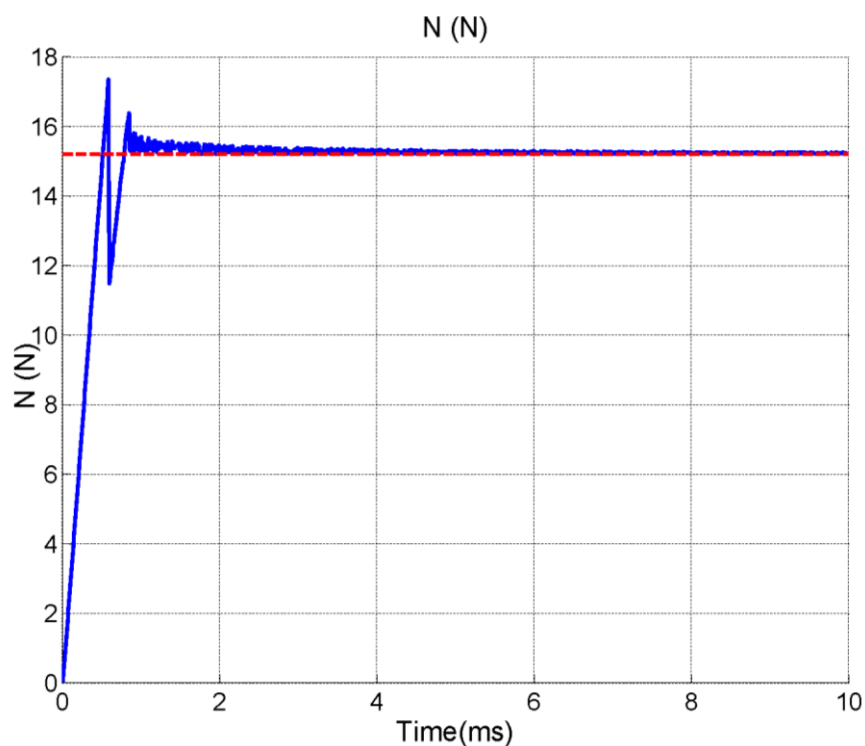
دلیل برخی از نوسانات به علت نحوه عملکرد نیروهای اصطکاک در حالت ایستایی و در حالت

دینامیک هست که براساس آن مقداری نوسان برای حالت نهایی وجود دارد.



شکل (۳-۱۵) نیروی اصطکاک در راستای Z

نتایج شکل (۳-۱۶) نیز نشان می‌دهد که بعد از مهار لغزش توسط انگشت نیروی عمودی تا حداقل مورد نیاز خود جهت نگهداری جسم کاهش یافته است. بنابراین به طور خلاصه و با توجه به نتایج این بخش می‌توان گفت که کنترلر توانسته است جسم را با اعمال حداقل نیروی عمودی لازم مهار کرده و آنرا ثابت نگاه دارد.



شکل (۳-۱۶) نیروی عمود بر سطح در راستای y

۳-۴ جمع بندی

با توجه به نتایج به دست آمده، می توان این مدل را برای حمل جسم پس از گرفتن آن توسط گریپر به کار برد و برای آن نیز به صورت جداگانه کنترلر را طراحی نمود و شبکه عصبی متناسب با داده های آن را آموزش داد. همان طور که مشاهده شد، کنترلر به خوبی عمل گرفتن جسم را انجام داد و نتایج، از دقت بسیار خوبی برخوردار بود. البته ضعف اصلی را می توان در ورود داده های جدید به مجموعه دانست که ممکن است شبکه فازی را به جواب متناسب نرساند.

بنابراین در فصل بعدی همین کنترلر برای حمل جسم توسط ربات آموزش داده خواهد شد تا جسم بدون لغزش در گریپر یک مسیر دلخواه را طی نماید.

فصل چهارم

انتقال جسم در فضا توسط ربات اسکارا با استفاده از کنترلر بر پایه

انفیس

۴ طراحی شبکه عصبی فازی تطبیقی و طراحی کنترل - حرکت فضایی

در این فصل طراحی کنترلر تناسبی- مشتقگیر- انتگرالگیر براساس شبکه عصبی فازی برای گرفتن جسم توسط گریپر و حمل آن در فضا ارائه گردیده است. با توجه به مدل سازی در فصل دوم در این قسمت همانند فصل قبلی ابتدا شبکه برای حمل جسم، مورد آموزش قرار می گیرد با این تفاوت که همزمان هم گریپر و هم ربات اسکارا آموزش داده خواهد شد. با توجه به آن که جسم در فضا می تواند حرکت کند، حرکت لغزش در دو جهت می تواند باشد. بنابراین باید در دو جهت به نیروی گریپر توجه گردد و به تاثیر دینامیک لینکها بر روی گریپر توجه نمود. با توجه به آن که حرکت ربات قیدهایی دارد بدون کاستن از شرایط کلی حالتی در نظر گرفته می شود که شتاب حرکت و گشتاور اعمال شده در مسیر حرکت ثابت می باشد و در ابتدا و انتهای حرکت به صورت خطی و بسیار سریع به مقدار صفر می رسد. با توجه به این شرایط انتظار می رود که آموزش در هر دو حالت حرکت یکنواخت حمل جسم و شروع و پایان مسیر به خوبی عمل نماید.

بنابراین در این فصل، ابتدا به طراحی مجدد ساختار شبکه عصبی پرداخته شده و توضیحات تکمیلی در مورد نگارش آن ارائه شده است. برای آموزش شبکه عصبی روش با نظارت در نظر گرفته می شود. با توجه به آن که معادلات حاکم بر دینامیک سیستم وجود دارد حدود ۱۰۰ حالت متفاوت برای جسم در نظر گرفته شده و مقادیر لازم برای نیروها و جابه جاییها محاسبه گردید و براساس آن شبکه آموزش لازم را می بیند. این حالات متفاوت از حل کردن معادلات دینامیک در شرایط مختلف به دست می آید.

برای استفاده از خروجی مدل انفیس ساخته شده، یک کنترلر تناسبی- مشتقگیر- انتگرالگیر که دارای ورودی نیرو و گشتاور است طراحی شده که ضرایب آن با استفاده از جدول زیگلر نیکولز انتخاب شده است.

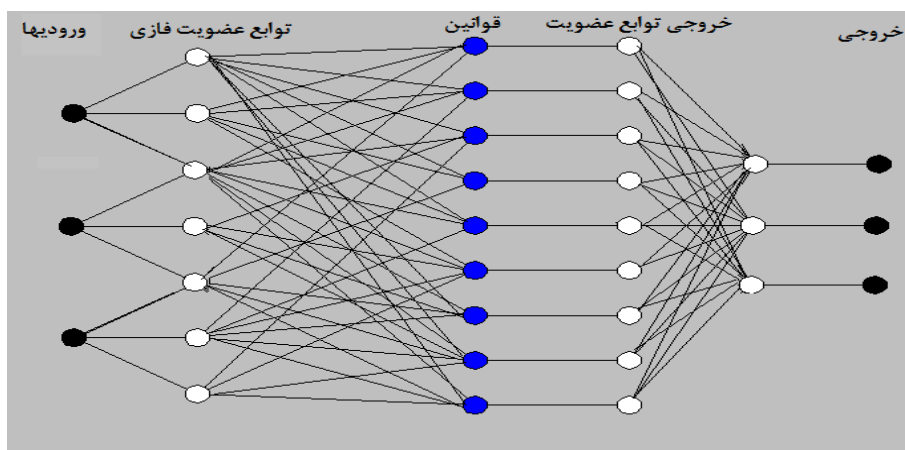
بنابراین در ادامه شکل گیری مدل شبکه عصبی برای حالت متفاوت کنترل و شرایط جدید با منطق و

قوانین فازی انجام خواهد شد. بعد از آن شبکه آموزش داده شده و مراحل آزمون را طی خواهد کرد. در مرحله بعد کنترلر طراحی شده و براساس دینامیک سیستم و بازخورد حرکت جسم مقادیر مورد نظر توسط کنترلر، تعقیب می‌شوند. شایان ذکر است که برای خروجی، گشتاور دو مفصل و برای خروجی نیرو نیز یک نیروی گریپر وجود دارد؛ بنابراین شبکه دارای سه خروجی و دو ورودی خواهد بود.

۴-۱ طراحی شبکه عصبی بر اساس دینامیک جدید

در این قسمت نیز از سیستم فازی تاکاگی سوگنو که ورودی‌ها و خروجی‌های آن متغیرهایی با مقادیر واقعی هستند، استفاده شده است. مطابق آنچه در فصل دوم آورده شد برای حالتی که جسم در حال حرکت توسط ربات است، امکان لغزش در طی مسیر وجود دارد. از آنجاکه ربات اسکارای مذکور جسمی را توسط پنجه گرفته و جابه‌جا می‌نماید، در طی مانور حرکتی امکان لغزش جسم با توجه به شتاب‌های اعمالی وجود دارد؛ لذا در لحظاتی از حرکت که جسم توسط پنجه گرفته و لغزشی ندارد، شتاب آن با شتاب پنجه ربات یکسان است و در لحظاتی که جسم در حال لغزش بین انگشتان است، شتاب آن در جهات لغزش از شتاب پنجه تبعیت نمی‌کند.

برای گرفتن و مهار لغزش جسم توسط پنجه ربات لازم است نیروی مورد نیاز از طرف آن بر جسم اعمال شود. برای وابسته کردن مقدار نیرو و گشتاور به لغزش و ضریب اصطکاک سطح می‌بایست قوانین فازی مورد نظر را به صورت تجربی و با توجه به نتایج قسمت قبلی تدوین شوند. بنابراین برای رسیدن به هدف شبکه عصبی کلی برای سه ورودی (دو لغزش و یک ضریب اصطکاک سطح) و سه خروجی (یک نیرو و دو گشتاور) است.



شکل (۱-۴) شکل کلی شبکه عصبی و فازی طراحی شده بر اساس سه ورودی و سه خروجی

انتخاب توابع عضویت

همان‌طور که در قسمت قبلی آورده شد با روش سعی و خطا می‌توان به بهترین تابع عضویت دست یافت. در این قسمت با توجه به آن که توابع مثلثی پاسخ شبیه‌سازی سیستم را دادند، می‌توان از آن‌ها در این قسمت نیز استفاده نمود؛ اما برای مقایسه میان نتیجه حاصل از توابع عضویت متفاوت در این قسمت از تابع عضویت سهموی استفاده می‌گردد که مقداری از تابع مثلثی کمتر محافظه کار می‌باشد.

۱-۱-۴ تدوین قوانین شبکه عصبی فازی

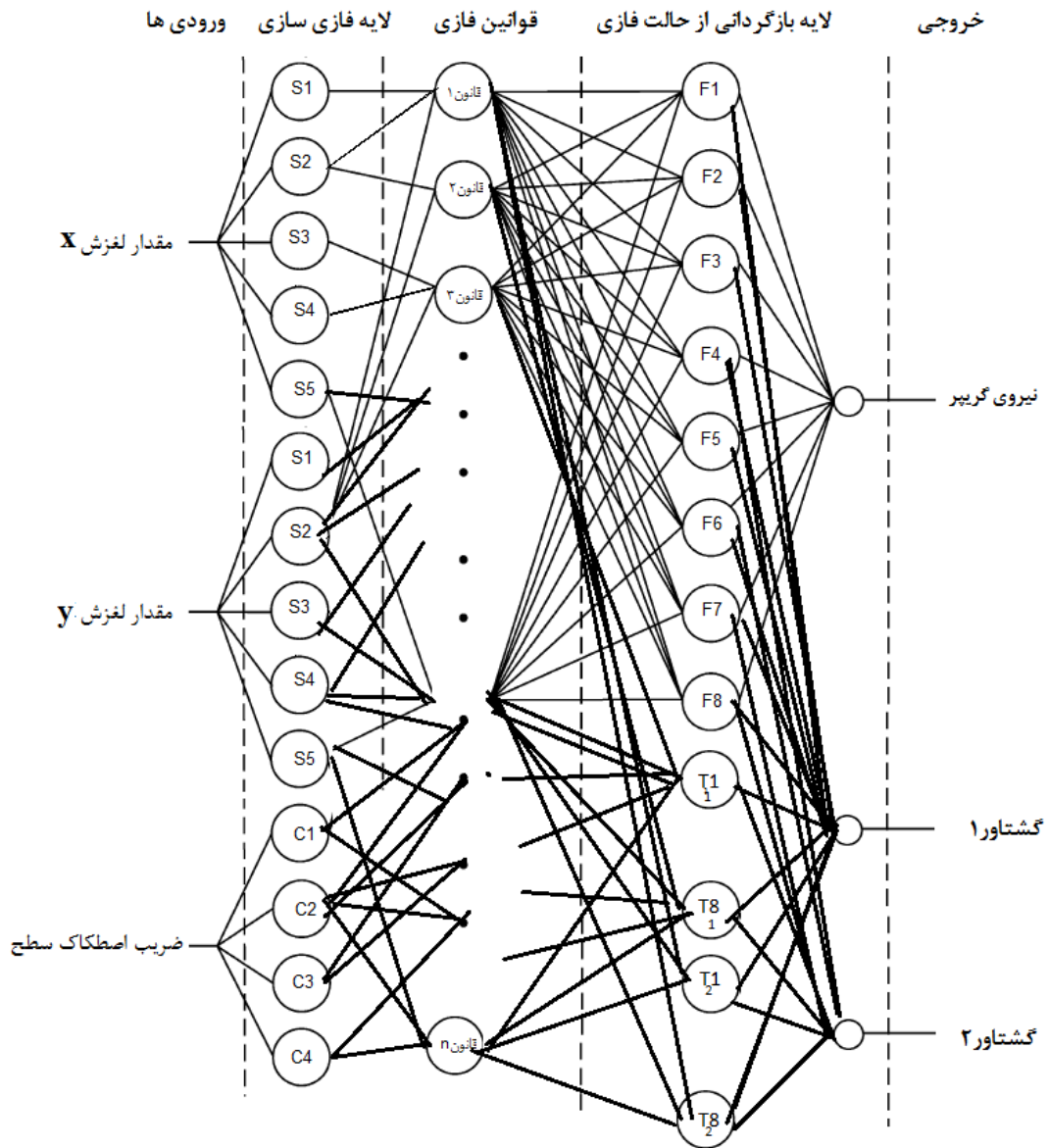
با توجه به آن که در این قسمت سه ورودی مقدار لغزش (دردوجهت) و اصطکاک سطح به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی در نظر گرفته شده‌اند و خروجی‌های آن‌ها نیز مقدار نیروی وارد شده از طرف فک می‌باشد. بنابراین قوانین فازی در این قسمت برای هر یک از ورودی‌ها نسبت به خروجی باید نگارش شوند. این توابع عضویت براساس روش ممدانی نگارش شده است.

با توجه به مطالبی که در فصل قبل آورده شد و برای نگارش قوانین فازی و محاسبه می‌توان مدل دقیق‌تر شبکه فازی عصبی را در شکل (۲-۴) مشاهده نمود. در این شکل دو ورودی اصطکاک سطح و لغزش جسم به عنوان ورودی شبکه مشخص شده‌اند و براساس قوانین جدول (۱-۴)، لایه دوم خروجی خود را به لایه سوم می‌دهد. پس از عبور از مرحله محاسبات در لایه چهارم، مقدار خروجی از حالت فازی خارج شده و به خروجی‌های نهایی داده می‌شود و براساس آن کنترلر با استفاده از این

خروجی‌ها به کار خود ادامه می‌دهد.

با توجه به موارد فوق، همان قوانین نیرو که در قسمت قبلی نگارش گردید استفاده شده و این قوانین برای دو گشتاور جدید به شکل متفاوتی نگارش می‌شوند. در این حالت در نظر گرفته می‌شود که گشتاورها مستقل از لغزش در راستای y عمل می‌نمایند تا بتوان شبکه ساده تر را ایجاد نمود و زمان آموزش را به حداقل ممکن رساند. بنابراین برای قوانین نیرو از جدول (۳-۱) استفاده شده اما برای گشتاور مفصل (۱) و مفصل (۲) می‌توان قوانین فازی لازم را در جدول (۴-۱) ملاحظه نمود.

همانند فصل قبلی، مقدار لغزش به پنج ناحیه و مقدار ضریب اصطکاک به چهار ناحیه در جدول یک تقسیم شده است. بر اساس مدل داده‌های حساب شده ضریب اصطکاک به دسته‌های سطح خشن (B_r)، زبر (R_o)، معمولی (C_o) و لیز (S_i) دسته‌بندی نمود و همچنین مقدار لغزش را به صورت خیلی زیاد (H_H)، زیاد (H)، متوسط (M)، کم (L) و خیلی کم (L_L) دسته‌بندی نمود.



شکل (۲-۴) مدل حاصل از سه ورودی و سه خروجی برای شبکه عصبی فازی

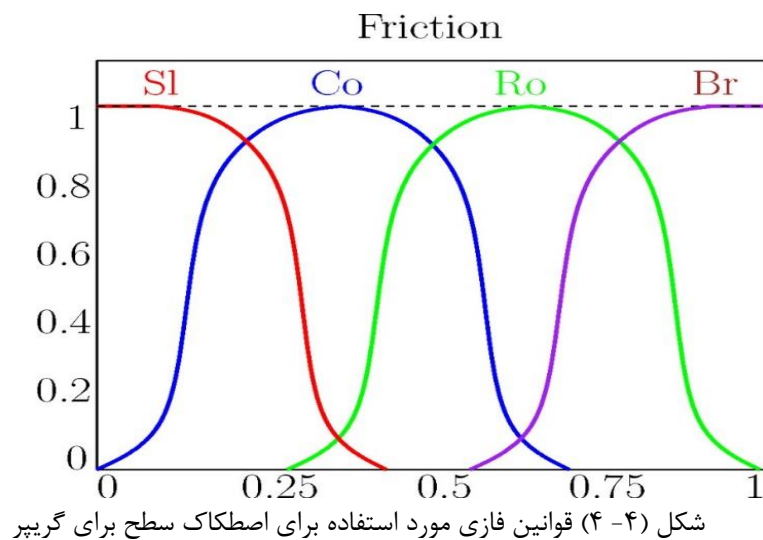
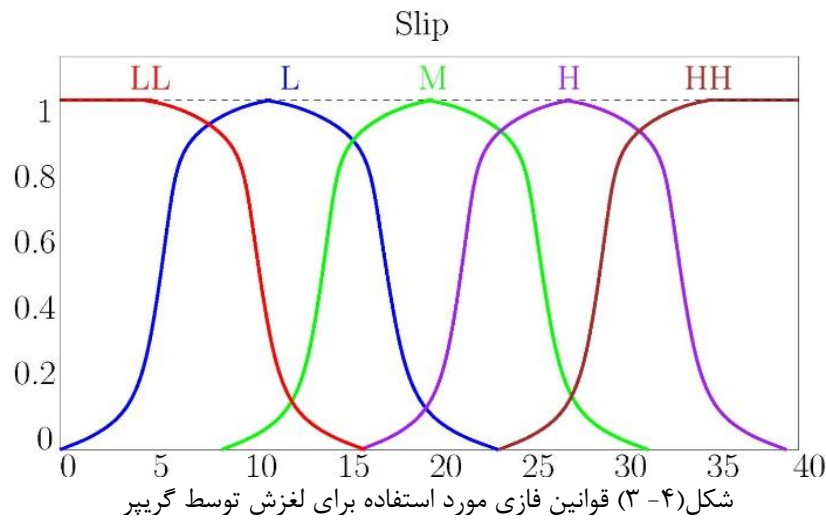
همان‌طور که شکل (۲-۴) نشان می‌دهد، برخی از قوانین برای محاسبه نیرو و برخی دیگر برای به دست آوردن گشتاور می‌باشند که نتیجه این شبکه به دست آوردن نیرو و گشتاور به طور هم‌زمان می‌باشد. بنابراین زمان آموزش این شبکه از مدل فصل قبلی بیشتر می‌باشد.

جدول (۱-۴) جدول مربوط به قوانین فازی نگارش شده برای گشتاور و اصطکاک و لغزش

شماره	اصطکاک سطح	مقدار لغزش	شرایط کاهش یا افزایش گشتاور
۱	خشن	خیلی زیاد	متوسط رو به کم
۲	خشن	زیاد	کم
۳	خشن	متوسط	کم
۴	خشن	کم	بسیار کم
۵	خشن	خیلی کم	بسیار بسیار کم
۶	زبر	خیلی زیاد	زیاد
۷	زبر	زیاد	متوسط رو به زیاد
۸	زبر	متوسط	متوسط رو به کم
۹	زبر	کم	کم
۱۰	زبر	خیلی کم	کم
۱۱	معمولی	خیلی زیاد	بسیار زیاد
۱۲	معمولی	زیاد	زیاد
۱۳	معمولی	متوسط	زیاد
۱۴	معمولی	کم	متوسط رو به زیاد
۱۵	معمولی	خیلی کم	متوسط رو به کم
۱۶	لیز	خیلی زیاد	بسیار بسیار زیاد
۱۷	لیز	زیاد	بسیار زیاد
۱۸	لیز	متوسط	زیاد
۱۹	لیز	کم	زیاد
۲۰	لیز	خیلی کم	متوسط رو به زیاد

همان‌طور که از جدول (۱-۴) مشخص است، برای خروجی منطق فازی هشت حالت متفاوت برای گشتاور در نظر گرفته شده است که براساس آن مقدار نیرو از درجه بسیار بسیار زیاد به درجه بسیار بسیار کم می‌رسد. تعداد هشت قانون فازی براساس تجربه موفقیت آمیز قسمت قبلی برای تقسیم بندی نیرو انتخاب شده است.

توابع عضویت برای ورودی لغزش در شکل (۳-۴) و برای ورودی اصطکاک سطح در شکل (۴-۴) آمده است. این توابع بر اساس قوانین جدول (۲-۳) به دست آمده و مقادیر آنها به جهت انجام محاسبات دقیق تر نرمال سازی شده اند. به منظور مقایسه کارایی دو شبکه در این قسمت از تابع عضویت سهموی استفاده شده است.

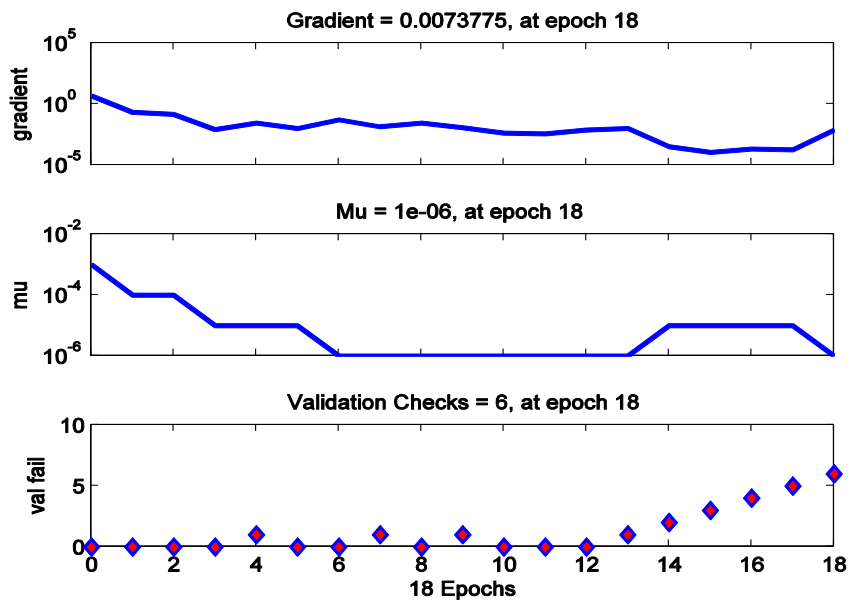


همان طور که از شکل های (۳-۴) و (۴-۴) مشاهده می شود، در توابع سهموی هم پوشانی قوانین بسیار زیادتر شده و بنابراین احتمال ایجاد و بروز خطا کمتر می گردد و با توجه به آن که تعداد توابع برای محاسبه یک مقدار بیشتر می شود، زمان محاسبه و همگرایی شبکه افزایش یافته؛ بنابراین مساله با افزایش مقدار خطا و زمان همگرایی مواجه می شود. شایان ذکر است که معادلات دقیق تر این توابع

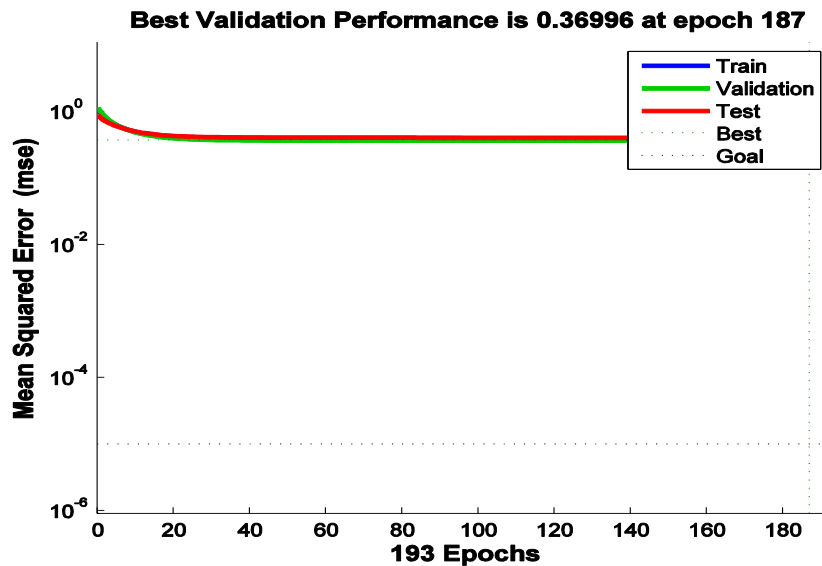
عضویت در مراجع [۳۸-۳۹] ارائه شده است.

۴-۱-۲ آموزش و تست شبکه

مشابه فصل قبل با توجه به این قوانین فازی و تشکیل پنج لایه می‌توان شبکه را آموزش داد. با انجام آموزش شبکه حاصل دارای مشخصات شکل (۴-۵) و (۴-۶) شده است. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است در آموزش داده‌ها در سری هجدهم به خطای قابل قبول می‌توان رسید و پس از آن بهترین ارزیابی در سری صد و هفتاد و هشتم اتفاق می‌افتد. همان‌طور که مشاهده شد زمان و تعداد تکرار به مقدار قابل توجهی افزایش یافته و شبکه به دست آمده بسیار از دقت کمتری نسبت به حالت مشابه فصل قبل برخوردار است؛ هر چند مقدار دقت برای اجرای شبکه کافی می‌باشد و براساس آن می‌توان جواب‌های مطلوبی به دست آورد.



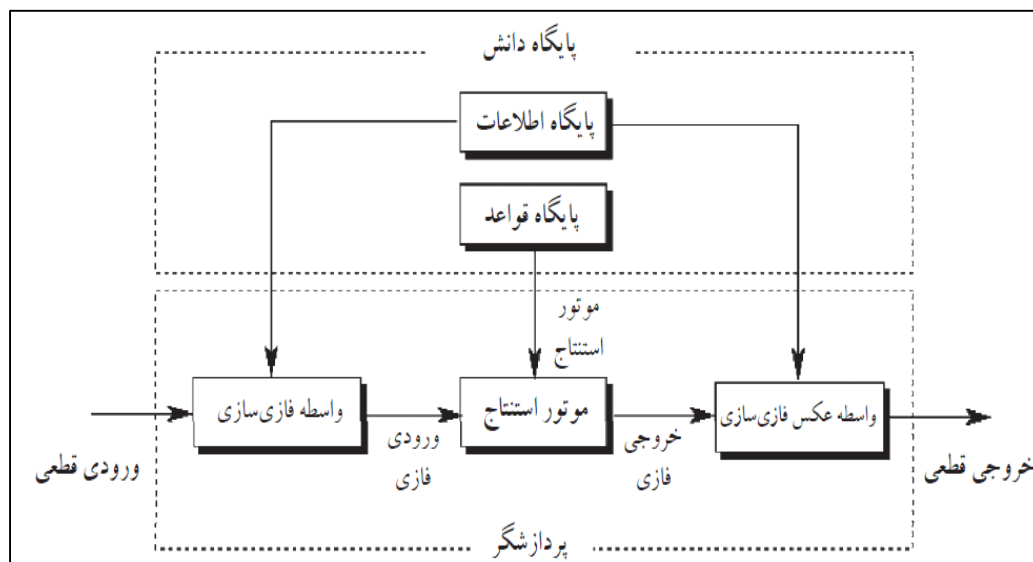
شکل (۴-۵) ارزیابی مدل برای فرآیند آموزش داده‌ها



شکل (۴-۶) همگرایی شبکه برای آموزش ، آزمون و ارزیابی شبکه

۴-۲ طراحی کنترلر

با توجه به مدل‌هایی از کنترلر که در فصل قبل آمد در این قسمت نیز می‌توان براساس کنترل گشتاور و همان قاعده کنترلر تناسبی- مشتقگیر- انتگرالگیر به جواب مطلوب برای ردیابی مقادیر گشتاور و نیروی مطلوب رسید. شبکه طراحی شده به بیان دقیق‌تر شامل تعدادی قاعده می‌باشد که براساس یک پایگاه دانش تعلیم یافته است و این موضوع را می‌توان در شکل (۴-۷) مشاهده نمود. بنابراین براساس این شبکه هدف این است که خروجی‌های قطعی دنبال شوند.



شکل (۴-۷) شماتیک کنترلر فازی

با توجه به شکل بالا و همچنین طراحی ساختار کنترلر می‌توان به نتایج مناسب برای مقادیر گشتاور و نیرو براساس لغزش و اصطکاک سطح رسید. با توجه به بلوک دیاگرام شکل (۴-۸) روابط زیر برای این کنترلر برقرار است:

$$e_{\tau}(t) = \tau_r - \tau, e_F(t) = F_r - F \quad (1-4)$$

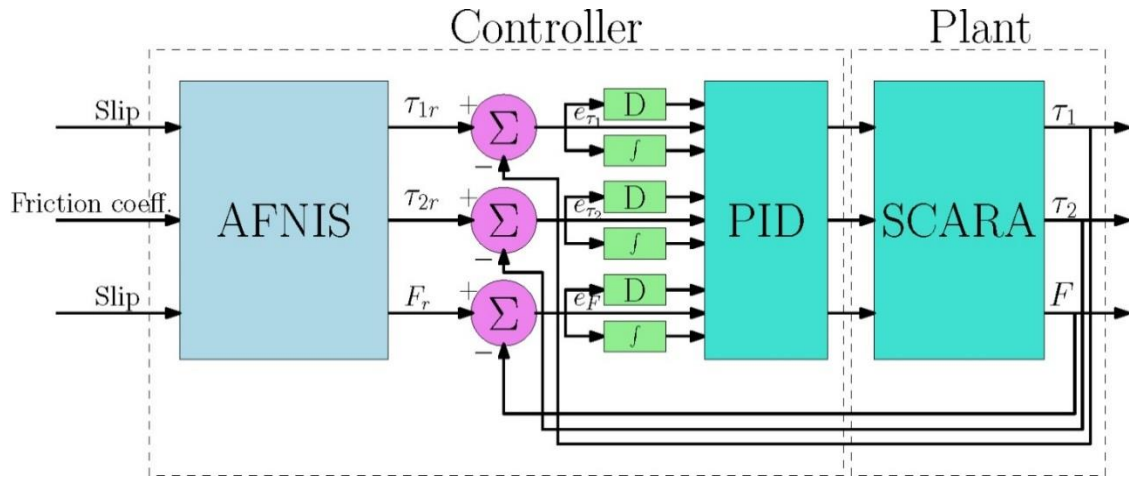
براساس همین معادله سیگنال‌های مشتق و انتگرال خطا در مدل کنترلی ساخته می‌شود و براساس آنچه در فصل قبل آورده شد، قانون کنترلر را می‌توان به صورت معادله (۴-۲) و (۴-۳) نوشت.

$$\tau[t] = \tau[t-1] + k_1 e_{\tau}(t) + k_2 e_{\tau}(t-1) + k_3 e_{\tau}(t-2) \quad (2-4)$$

$$F[t] = F[t-1] + k_1 e_F(t) + k_2 e_F(t-1) + k_3 e_F(t-2) \quad (3-4)$$

۳-۴ پیاده‌سازی مدل نهایی

با توجه به مطالبی که در قسمت قبل آورده شد می‌توان مدل اصلی و بلوک دیاگرام کنترلر را به صورت آنچه که در شکل (۴-۸) آمده است ترسیم نمود.

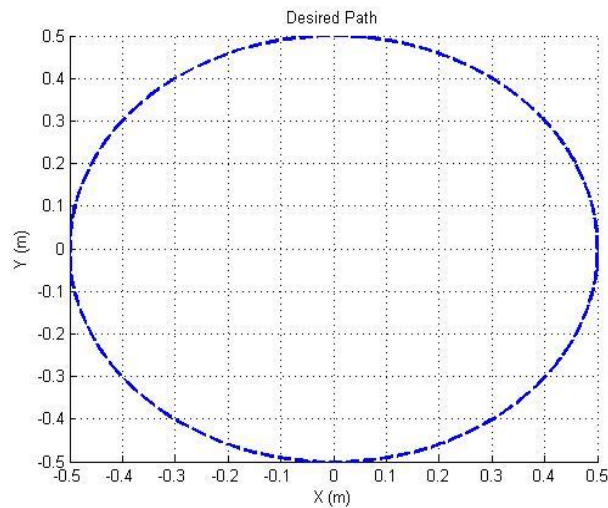


شکل (۴-۸) بلوک دیاگرام کنترلی مدل برای گشتاور و نیرو

در این بلوک دیاگرام در ابتدا انفیس با توجه به اطلاعات حاصل از جسم مقادیر مناسب نیرو در گریپر را محاسبه می‌نماید. در این مرحله مقادیر ضرایب اصطکاک و مقدار لغزش به انفیس در لحظه به لحظه گزارش می‌شود و خروجی آن به صورت نیرو و گشتاور مرجع به کنترلر داده می‌شود. براساس سیگنال خطا؛ مشتق و انتگرال آن خروجی سیستم محاسبه شده و به مجموعه کنترلر داده می‌شود و سپس خروجی کنترلر به ربات اعمال می‌شود.

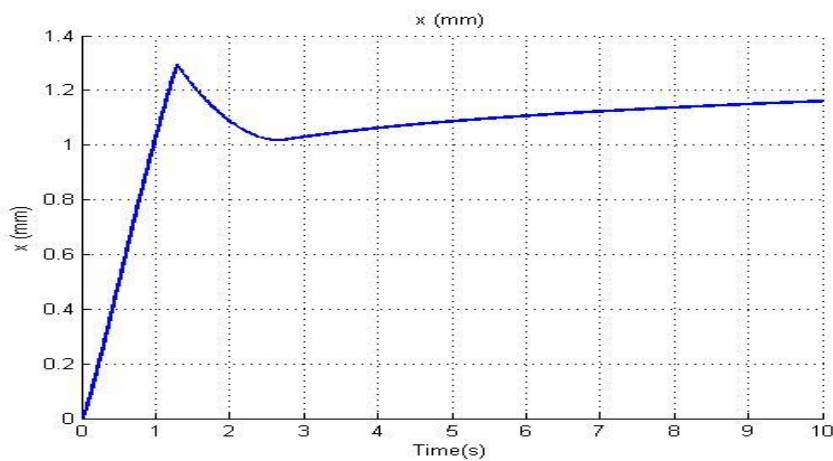
۴-۳-۱ نتایج و شبیه‌سازی

شبیه‌سازی یک مسیر دایره‌ای برای جابه‌جایی مطلوب جسم مطابق شکل (۴-۹) در نظر گرفته می‌شود.

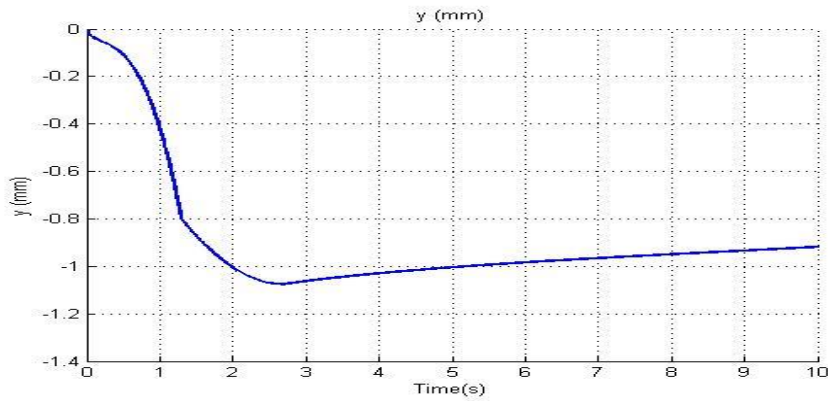


شکل (۹-۴) مسیر دایره‌ی دلخواه برای ربات اسکارا

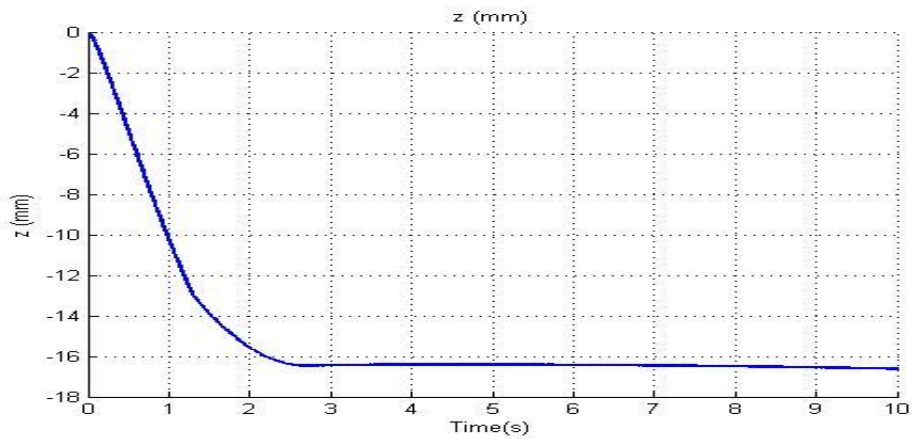
باتوجه به مسیر دلخواه ارائه شده در شکل (۹-۴) در ابتدا مسیر دایروی با توجه به موقعیت جسم در هر یک از راستاها مدنظر قرار می‌گیرد و سپس مقادیر نیرو و گشتاور به دست آمده گزارش می‌گردد. شکل های (۱۰-۴) الی (۱۲-۴) بیانگر تغییر مکان جسم در سه راستا هستند، همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با کمی خطای بیشتر نسبت به حالت مشابه در فصل قبل نهایتاً جسم در مسیر مطلوب باقی مانده و لغزش آن‌ها کنترل شده است. هر چند که مقدار لغزش قابل توجه بوده و حدود ۱۵ میلی‌متر می‌باشد.



شکل (۱۰-۴) تغییر مکان جسم در راستای X

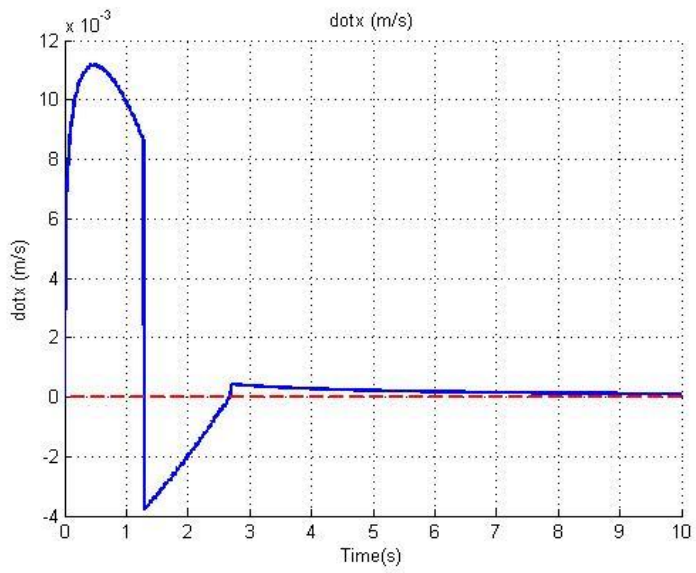


شکل (۴-۱۱) تغییر مکان جسم در راستای y

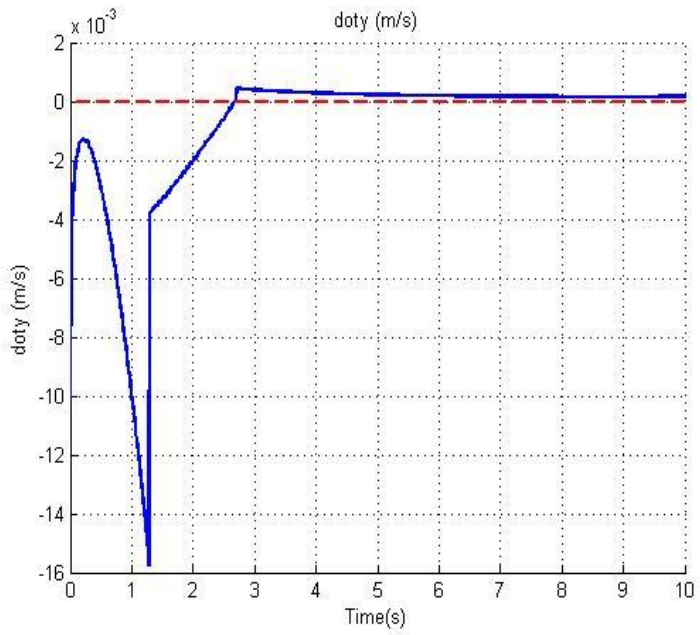


شکل (۴-۱۲) تغییر مکان جسم در راستای z

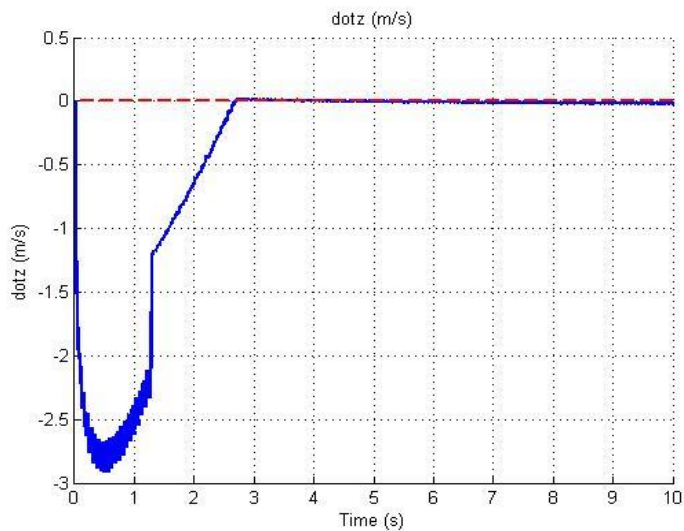
البته تغییر مکان جسم در راستای x و y به خوبی مهار شده و جسم در راستای دیگر آزادی عمل کمتری داشته و سریع‌تر مهار شده است، هر چند که در راستای x شتاب گریز از مرکز منجر به ایجاد خطای بسیار بیشتری شده و جسم از محور اصلی حرکت ربات دور شده است ولی نهایتاً کنترل بر روی جسم کاملاً صورت گرفته است. در شکل (۴-۱۱) نیز کنترل بهتری در راستای y صورت گرفته است که البته در این راستا گریز بسیار دقیق‌تر می‌باشد.



شکل (۴-۱۳) تغییر سرعت جسم در راستای X

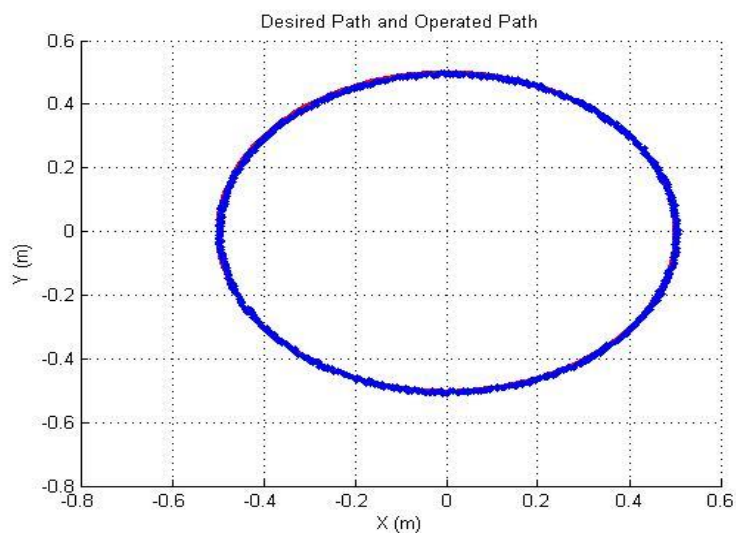


شکل (۴-۱۴) تغییر سرعت جسم در راستای Y



شکل (۴-۱۵) تغییر سرعت جسم در راستای Z

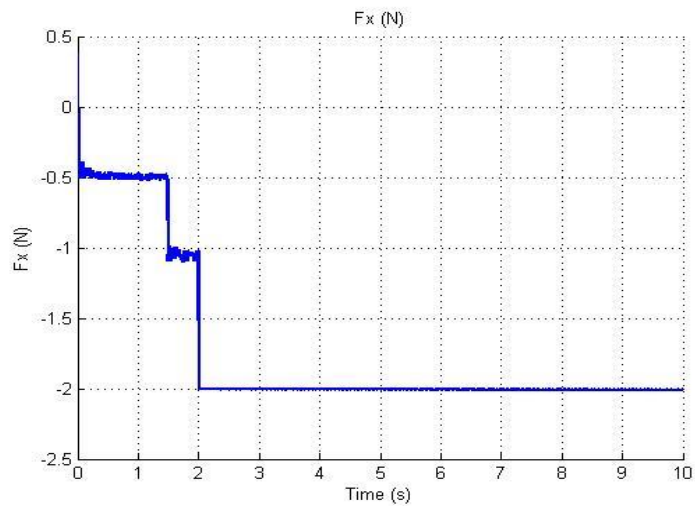
با توجه به شکل‌های (۴-۱۳) الی (۴-۱۵) می‌توان استنتاج نمود که کنترلر به خوبی توانسته است لغزش جسم را مهار و سریعاً سرعت نسبی آن را به صفر برساند. شکل (۴-۱۶) مسیر حرکت جسم در مقایسه با مسیر دلخواه است که انحرافات جسم از مسیر مطلوب را می‌توان به صورت تغییرات بسیار جزئی در مسیر حرکت مشاهده نمود.



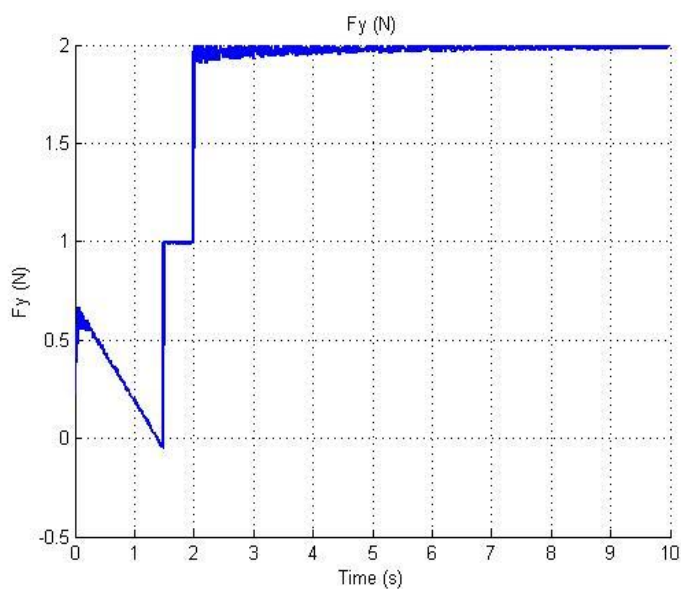
شکل (۴-۱۶) مقایسه مسیر دلخواه و مسیر حرکت جسم در صفحه

نتایج شکل‌های (۴-۱۷) و (۴-۱۸) نیز نشان می‌دهد که بعد از مهار لغزش توسط گریپر، نیروی

اصطکاک تا حداقل مورد نیاز خود جهت نگهداری جسم کاهش یافته است. بنابراین با توجه به نتایج این بخش می‌توان گفت که کنترلر توانسته است جسم را با اعمال حداقل نیروی عمودی لازم مهار کرده و آنرا ثابت نگاه دارد.



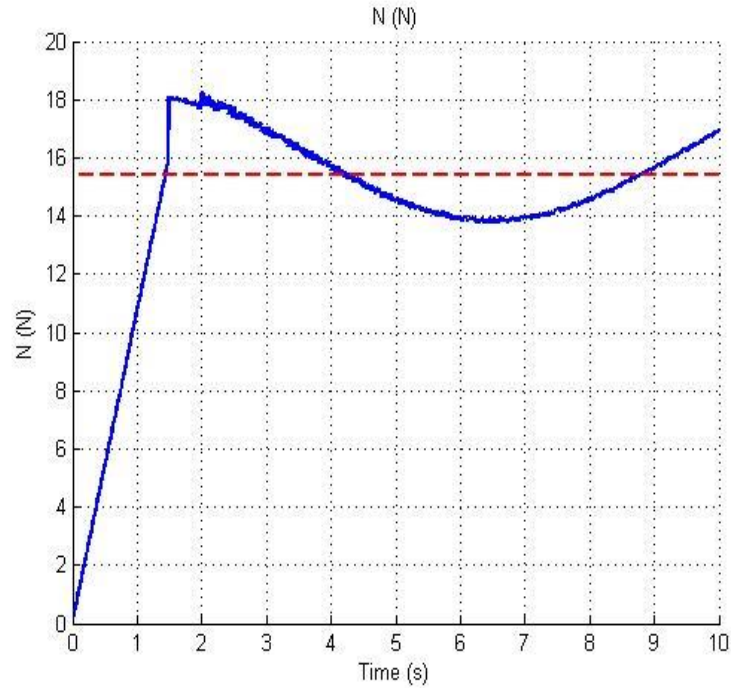
شکل (۴-۱۷) نیروی اصطکاک در راستای Z



شکل (۴-۱۸) نیروی اصطکاک در راستای y

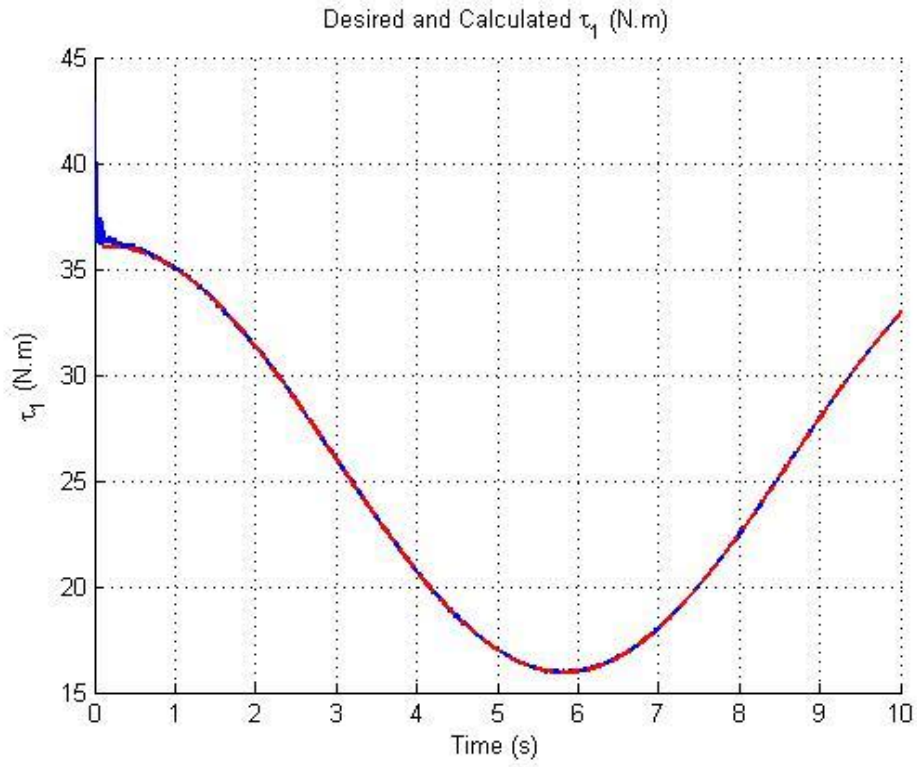
نیروی عمود بر سطح نیز در شکل (۴-۱۹) ارائه گردیده است و مسیر سینوسی این نیرو به علت نحوه حرکت جسم می‌باشد که در مسیر دایروی است. مقدار این نیرو در ابتدا تا اندازه مشخصی بالا می‌رود

تا جسم را مهار نماید، سپس به صورت سینوسی در حد مقدار مجاز برای نگهداری جسم تغییر می- نماید.

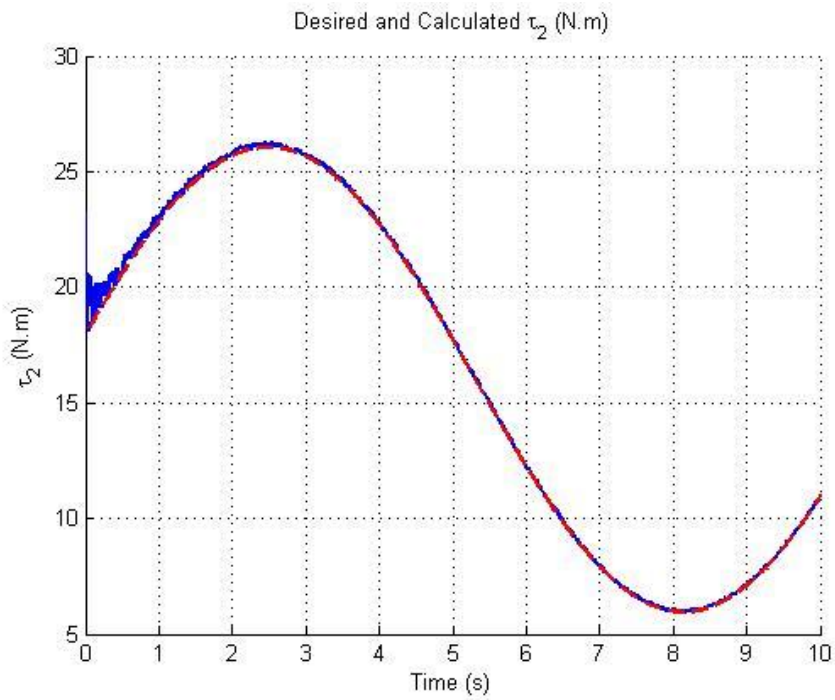


شکل (۴-۱۹) نیروی عمود بر سطح در راستای y

بر همین مبنا نیز تلاش کنترلی برای ردیابی روی مقادیر گشتاور محاسبه شده برای ربات اسکارا در شکل‌های (۴-۲۰) و (۴-۲۱) ترسیم گردیده است که با توجه به عملکرد خوب کنترلر می‌توان نتیجه گرفت که حرکت مطلوب جسم بر اساس صفر نمودن خطا در این کنترلر صورت گرفته است.



شکل (۴-۲۰) مقادیر دلخواه و محاسبه شده گشتاور ۱



شکل (۴-۲۱) مقادیر دلخواه و محاسبه شده گشتاور ۲

۴-۴ جمع بندی

از بررسی نتایج شبیه‌سازی مشخص می‌شود که شبکه عصبی فازی ساخته شده توانایی محاسباتی بسیار خوب داشته و همچنین کنترلر به خوبی توانسته ردگیری خطا را انجام دهد. در این شبیه‌سازی در نظر گرفته شده بود جسم در یک مسیر دایره ای حرکت نماید. مقادیر تغییر مکان جسم در مقایسه با نتایج فصل قبلی افزایش یافته و در زمان بسیار بیشتری نسبت به حالت قبلی جسم کنترلر می‌گردد چرا که رفتار دینامیکی جسم ناشی از شتاب‌های جانبی وارده بر آن تغییر می‌یابد و کنترلر باید آن‌ها را جبران نماید. علاوه بر این مقادیر نیروها بسیار متفاوت نسبت به فصل قبل می‌باشند که به علت محاسبه شتاب گریز از مرکز و شتاب خطی مماسی در حرکت می‌باشد.

با توجه به آن که گشتاورهای به دست آورده شده برای مفاصل ربات بر اساس دینامیک ربات و مقادیر اندازه‌گیری شده بر اساس کنترلر تطابق خوبی دارند می‌توان نتیجه گرفت که مدل فازی عصبی تشکیل یافته به خوبی توانسته است، محاسبات مربوط به گشتاور را انجام دهد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهاد کارهای آتی

در این پایان‌نامه، ابتدا مدل‌سازی سینماتیکی و دینامیکی ربات اسکارا با پنجه فک موازی ارائه گردید و سپس با توجه به قوانین فازی و کنترلر تناسبی- مشتقگیر- انتگرالگیر یک کنترلر که مجهز به شبکه عصبی با قوانین فازی بود طراحی گردید. در بخش مدل‌سازی، به جهت فرض گرفتن ایمن جسم در تحقیق حاضر و اثرگذاری وزن جسم و یا تحریکی که ممکن است توسط مانور ربات در جابه‌جایی جسم ایجاد شود، مدل دینامیکی جسم براساس فرضیات در نظر گرفته‌شده محاسبه گردید. سپس به جهت بررسی دقیق وضعیت لغزش جسم، حالت‌های مختلف لغزش براساس مقدار نیروهای اعمالی بر آن و حرکت نسبی جسم نسبت به پنجه تحلیل شده است.

در ادامه و در فصل سوم برای گرفتن ایمن جسم یک شبکه عصبی فازی با یک خروجی و دو ورودی ایجاد شد که براساس آن یک کنترلر تناسبی- مشتقگیر- انتگرالگیر، جسم را به صورت ایمن مهار کرده و نتایج اولیه آن بیانگر توانایی این روش برای گرفتن جسم بود. برای آموزش شبکه عصبی تعداد دوپست داده براساس محاسبات دینامیکی ارائه شده در فصل دوم ایجاد گردید و شبکه با خطای بسیار خوبی به دست آمد.

با همین رویکرد در فصل چهارم، برای حمل جسم در فضا، شبکه عصبی جدیدی با سه خروجی و سه ورودی طراحی گردید و بر اساس آن نیرو و گشتاور لازم برای حرکت ربات به دست آمد. مانند حالت قبلی آموزش بر اساس معادلات دینامیکی صورت پذیرفت و کنترلر تناسبی- مشتقگیر- انتگرالگیر برای سه حالت مختلف طراحی گردید. نتایج شبیه‌سازی حاکی از همگرایی دیرتر شبکه به علت سنگین‌تر بودن محاسبات با توجه به تعداد بیشتر نورون‌ها بود. علاوه بر این مقدار خطا نیز افزایش یافته بود. خروجی‌ها در این قسمت با توجه به شبکه با خطای بیشتر عملکردی ضعیف‌تر داشت. اما کنترلر به خوبی توانست مقادیر خطا را به صفر برساند و عمده مشکل موجود در بحث آموزش شبکه عصبی فازی وجود داشت.

از مقایسه نمودارهای خطای ردگیری در دو فصل ۴ و ۵ به خوبی می‌توان دریافت که میزان سنگین بودن و دقت شبکه عصبی تاثیر مستقیم بر روی عملکرد کنترلر دارد.

با توجه به آنچه در این تحقیق به دست آمد پیشنهادهای زیر برای ادامه تحقیق ارائه می‌گردد:

- ❖ بهینه‌سازی قوانین شبکه عصبی فازی و بهبود ساختار شبکه با الگوریتم ژنتیک
- ❖ اعمال اثر عدم قطعیتها در سیستم و جبران و ثبت لغزش با تغییر ساختار پنجه
- ❖ استفاده از کنترلرهای مدرن برای به دست آوردن نتایج بهتر در قسمت صفر نمودن خطا

- [1] Okada, Kei, Mitsuharu Kojima, Yuuichi Sagawa, Toshiyuki Ichino, Kenji Sato, and Masayuki Inaba. "***Vision Based Behavior Verification System of Humanoid Robot for Daily Environment Tasks.***" In Humanoid Robots, 2006 6th IEEE-RAS International Conference on, pp. 7-12. IEEE, 2006.
- [2] Cutkosky, Mark R. "***On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks.***" Robotics and Automation, IEEE Transactions on 5, no. 3 (1989): 269-279.
- [3] Bicchi, Antonio, J. Kenneth Salisbury, and Paolo Dario. "***Augmentation of Grasp Robustness Using Intrinsic Tactile Sensing.***" In Robotics and Automation, 1989. Proceedings., 1989 IEEE International Conference on, pp. 302-307. IEEE, 1989.
- [4] Jacobsen, Steve C., John E. Wood, D. F. Knutti, and Klaus B. Biggers. "***The UTAH/MIT Dexterous Hand: Work in Progress.***" The International Journal of Robotics Research 3, no. 4 (1984): 21-50.
- [5] Luo, Ren C., and Toshio Fukuda. "***Special Issue on Networked Intelligent Robots Through the Internet [Scanning the Issue].***" Proceedings of the IEEE 91, no. 3 (2003): 367-370.
- [6] Albini, A., Y. Iwamoto, H. K. Kleinman, G. R. Martin, S. A. Aaronson, (1992). "***Neurocontrol - Learning Control Systems Inspired by Neuronal Architectures and Human Problem Solving Strategies.***" *Lecture Notes in Control and Information Sciences No. 172.* Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- [7] Song, Seung Kwan, Jin Bae Park, and Yoon Ho Choi. "***Dual-Fingered Stable Grasping Control for an Optimal Force Angle.***" Robotics, IEEE Transactions on 28, no. 1 (2012): 256-262.
- [8] Boughdiri, Rim, Habib Nasser, Hala Bezine, Nacer K. M'Sirdi, Adel M. Alimi, and Aziz Naamane. "***Dynamic Modeling and Control of a Multi-Fingered Robot Hand for Grasping Task.***" Procedia Engineering 41 (2012): 923-931.
- [9] Pitts, Walter. "***The Linear Theory of Neuron Networks: The Dynamic Problem.***" The bulletin of mathematical biophysics 5, no. 1 (1943): 23-31.

- [10] Hagan, Martin T., Howard B. Demuth, and Mark H. Beale." *Neural Network Design. Boston* : Pws Pub., 1996.
- [11] Haykin, Simon S., Simon S. Haykin, Simon S. Haykin, and Simon S. Haykin." *Neural Networks and Learning Machines*." Vol. 3. Upper Saddle River: Pearson Education, 2009.
- [12] Haykin, Simon, and Neural Network. "*A Comprehensive Foundation*." Neural Networks 2, no. 2004 (2004).
- [13] Ge, Shuzhi Sam, Chang C. Hang, Tong H. Lee, and Tao Zhang. "*Stable Adaptive Neural Network Control*". Springer Publishing Company, Incorporated, 2010.
- [14] Tsoukalas, Lefteri H., and Robert E. Uhrig." *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*." John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [15] Nauck, Detlef, Frank Klawonn, and Rudolf Kruse." *Foundations of Neuro-Fuzzy Fystems*." John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [16] Mamdani, Ebrahim H., and Brian R. Gaines. "*Fuzzy Reasonings and Its Applications*." Academic Press, Inc., 1981.
- [17] Zaki, Aziza M., and Amal Z. Mohamed. "*Microstepping Control of Hybrid Stepper Motor Using Fuzzy Logic for Robotics Applications, Electronic Reserch Institute*." Dokki, Cairo, Egypt.
- [18] Klir, George, and Bo Yuan." *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic*." Vol. 4. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- [19] Glossas, NI. , and Aspragathos N.A, 2001, "*Fuzzy Logic Grasp Control Using Tactile Sensors* ", Mechatronics, vol. 11, pp.899-920
- [20] Lee, Chuen-Chien. "*Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller. II*." Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on 20, no. 2 (1990): 419-435.
- [21] Liang, Qilian, and Jerry M. Mendel. "*Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems: Theory and Design*." Fuzzy Systems, IEEE Transactions on 8, no. 5 (2000): 535-550.
- [22] Kaur, Arshdeep, and Amrit Kaur. "*Comparison of Fuzzy Logic and Neuro-Fuzzy Algorithms for Air Conditioning System*." International journal of soft computing and engineering 2, no. 1 (2012): 2231-2307.

- [23] Åström, Karl Johan, and Tore Hägglund. *Advanced PID Control. ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society*; Research Triangle Park, NC 27709, 2006.
- [24] Dorf, Richard C., and Robert H. Bishop. *Modern Control Systems*. (1998).
- [25] Angeles, Jorge, and J. Angeles. *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems*. Vol. 2. New York: Springer-Verlag, 2002.
- [26] Mason, Matthew T. *Mechanics of Robotic Manipulation*. MIT press, 2001.
- [27] Liu, Min-Jie, Cong-Xin Li, and Chong-Ni Li. "Dynamics Analysis of the Gough-Stewart Platform Manipulator." *Robotics and Automation, IEEE Transactions on* 16, no. 1 (2000): 94-98.
- [28] Chestnutt, Joel, Manfred Lau, German Cheung, James Kuffner, Jessica Hodgins, and Takeo Kanade. "Footstep Planning for the Honda Asimo Humanoid." In *Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on*, pp. 629-634. IEEE, 2005.
- [29] Makino, Hiroshi, and N. Furuya. "SCARA Robot And Its Family." In *Proc. 3rd Int. Conf. on Assembly Automation*, pp. 433-444. 1982.
- [30] Gosselin, Clement, Eric St Pierre, and Martin Gagne. "On the Development of the Agile Eye." *Robotics & Automation Magazine, IEEE* 3, no. 4 (1996): 29-37.
- [31] Ananthraman, Santosh, and Devendra P. Garg. "Training Backpropagation and CMAC Neural Networks for Control of a SCARA Robot." *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 6, no. 2 (1993): 105-115.
- [32] Spong, Mark W., and Mathukumalli Vidyasagar. *Robot Dynamics and Control*. John Wiley & Sons, 2008.
- [33] Ropponen, Timo. "Actuation Redundancy in a Closed-Chain Robot Mechanism." (1993).
- [34] Do, W. Q. D., and D. C. H. Yang. "Inverse Dynamic Analysis and Simulation of a Platform Type of Robot." *Journal of Robotic Systems* 5, no. 3 (1988): 209-227.
- [35] Niku, Saeed B. *Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications*. Vol. 7. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

- [36] Zaki, Ahmed Moustafa, Mohamed H. El-Shafey, and Gamal M. Ali. "***Fuzzy Controller for Mobile Robots Using Evolvable Hardware.***" In Electronics, Circuits and Systems, 2007. ICECS 2007. 14th IEEE International Conference on, pp. 1201-1204. IEEE, 2007.
- [37] Wang, Hua O., K. Tanaka, and M. Griffin. "***Parallel Distributed Compensation of Nonlinear Systems by Takagi-Sugeno Fuzzy Model.***" In Fuzzy Systems, 1995. International Joint Conference of the Fourth IEEE International Conference on Fuzzy Systems and The Second International Fuzzy Engineering Symposium., Proceedings of 1995 IEEE International Conference on, pp. 531-538. 1995.
- [38] Cao, Yong-Yan, and Paul M. Frank. "***Stability Analysis and Synthesis of Nonlinear Time-Delay Systems Via Linear Takagi-Sugeno Fuzzy Models.***" Fuzzy sets and Systems 124, no. 2 (2001): 213-229.
- [39] Takagi, Tomohiro, and Michio Sugeno. "***Fuzzy Identification of Systems and its Applications to Modeling and Control.***" Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on 1 (1985): 116-132.
- [40] Angelov, Plamen P., and Dimitar P. Filev. "***An Approach to Online Identification of Takagi-Sugeno Fuzzy Models.***" Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on 34, no. 1 (2004): 484-498.
- [41] Klir, George, and Bo Yuan. "***Fuzzy Sets and Fuzzy Logic.***" Vol. 4. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- [42] Mamdani, E. H., J. J. Østergaard, and E. Lembessis. "***Use of Fuzzy Logic for Implementing Rule-Based Control of Industrial Processes.***" In Advances in Fuzzy Sets, Possibility Theory, and Applications, pp. 307-323. Springer US, 1983.
- [43] C. Harris, X. Hong, and Q. Gan. "***Adaptive Modelling, Estimation and Fusion from Data: A Neurofuzzy Approach.***" Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, Germany, 2002.
- [44] V. N. Dubey, R. M. Crowder, and P. H. Chappell. "***Optimal Object Grasp Using Tactile Sensors and Fuzzy Logic.***" Robotica, 17(6):685-693, 1999.

- [45] A. Bicchi and V. Kumar. "**Robotic Grasping and Contact:**" A review. In IEEE International Conference on Robotics and Automation, pages 348–353, San Francisco, CA, 2000.
- [46] Lera, Gabriel, and Miguel Pinzolas. "**Neighborhood Based Levenberg-Marquardt Algorithm for Neural Network Training.**" Neural Networks, IEEE Transactions on 13, no. 5 (2002): 1200-1203.
- [47] Kermani, Bahram G., Susan S. Schiffman, and H. Troy Nagle. "**Performance of the Levenberg–Marquardt Neural Network Training Method in Electronic Nose Applications.**" Sensors and Actuators B: Chemical 110, no. 1 (2005): 13-22.
- [48] Saini, L. M., and M. K. Soni. "**Artificial Neural Network Based Peak Load Forecasting Using Levenberg-Marquardt and Quasi-Newton Methods.**" In Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings-, vol. 149, no. 5, pp. 578-584. IET, 2002.
- [49] Tanaka, Kazuo, and Michio Sugeno. "**Stability Analysis and Design of Fuzzy Control Systems.**" Fuzzy sets and systems 45, no. 2 (1992): 135-156.
- [50] Åström, K. J., and T. Hägglund. "**Revisiting the Ziegler–Nichols Step Response Method for PID Control.**" Journal of process control 14, no. 6 (2004): 635-650.

فهرست منابع فارسی

- [۱] محرم حبیب نژاد کورایم ، امیرمسعود تاکی ، ۱۳۸۹ ، " ساخت عامل نهائی برای ربات گوجه چین" ، کنفرانس کنترل، ابزار دقیق و اتوماسیون، کد مقاله : ۱۴۱۰۷-۵-۶ خردادماه، تهران.
- [۲] جعفر صدیق، حبیب احمدی، ۱۳۸۹ ، " جابجایی اجسام ظریف دو بعدی بوسیله یک ربات سری روی سطح به کمک اصطکاک" ، کنفرانس کنترل، ابزار دقیق و اتوماسیون، کد مقاله : ۱۰۲۶۷-۵-۶ خردادماه، تهران.
- [۳] آسادا و اسلوتاین، " تجزیه و تحلیل و کنترل ربات، ترجمه دکتر حبیب نژاد کورایم" ، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۶.
- [۴] حبیب احمدی ، هانیه اسماعیلی ، محمد مهدی فاتح ، " جبران سازی لغزش رخ داده در گرفتن اجسام توسط پنجه ربات" ، مجله مهندسی مکانیک مدرس، مقاله ۱۹، دوره ۱۵، شماره ۱، فروردین ۱۳۹۴، صفحه ۱۵۱-۱۶۲

Abstract

Due to the growth of knowledge in the field of robotics, certain application requires robots to be more accurate than ever. To get and keep the flexible and rigid bodies with grippers, different clamp design with different shapes and with many methods has been controlled. object can vary in size, shape and behavior. Therefore precise method of control is needed to identify the nature of the object and on the issue control commands. Robotic grippers need a centralized system to control the flow of data from sensors and then calculate direct visual contact and how to perform a gripping procedure. Naturally human shortcut the gripping procedure and select the shortest path in order to simplify the task. Traditional control methods are being taken to secure the object. In summary, previous research on the modeling and control of robots receiver is done by Anfis main research topics are pursued the path of the robot, and the chain. The application of Anfis in the body by paw received less attention, although research is ongoing to secure the body to the conventional control methods. To innovate and achieve a new method, fuzzy rules for identifying the behavior of the object in the Anfis activation functions have been used in Anfis network. For this purpose, a set of basic data on the behavior of the object and the gripper is used to model the force-position control of the gripper. The basic part of this project is to develop a model that treats the object as well the neuro-fuzzy model had detected. It should also control the claw to the body in order to not add extra force into the subtle objects, causing damage to them.

Keywords: safe grasping, Anfis, the neuro-fuzzy logic, Integrator-deviator-proportional controller, robot model scara.



University of Shahrood

Faculty of Mechanic

**Safe Grasping of An Object Using Adaptive Neuro- Fuzzy
Inference System By a Robotic Gripper**

Iman Hosseini

Supervisor:

Dr.Habib Ahmadi

Advisor:

Dr.Mohammad Mahdi Fateh

February 2015