بسم الله الرحمن الرحيم
بسم الله الرحمن الرحيم
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

طراحی بهینه مسیر ربات با درجه آزادی اضافی با استفاده از روش‌های محاسباتی نرم

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

محمد صابریان

استاد راهنما

دکتر مهدی کشمیری

تابستان ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

آقای محمد صابریان تحت عنوان

طراحی بهینه مسیر ربات با درجه آزادی اضافی با استفاده از روش‌های محاسباتی نرم

در تاریخ ۱۳۹۰/۵/۱۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱-	استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مهدی کشمیری
۲-	استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر سعید بهبهانی
۳-	استاد داور	دکتر محمد دانش
۴-	استاد داور	دکتر مصطفی غیور

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر محمدرضا سلیم‌پور

برخود لازم می‌دانم

از پدر و مادر عزیزم که همواره مشوق من در تحصیل علم بودند و با همه وجود دوستشان دارم

از استاد راهنمایم دکتر مهدی کشمیری که به شاگردیشان در علم و اخلاق مفتخرم

از استاد مشاورم دکتر سعید بهبهانی به خاطر نظرهای ارزشمندشان‌جهت هر چه بهتر انجام شدن این پژوهش

از برادرم محسن و دامادم امیرعلی و دوستانم ابراهیم حسین‌خانی، محمدحسین قلی‌پور، مهدی حسینی، احسان یاری، محسن طاهری‌نسب و امین مردان که همواره از کمک‌هایشان در رفع مشکلات پایان‌نامه بهره مند بودم

قدردانی نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

دلسوزی پدرم

مهربانی مادرم

صبوری استادم

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱- فصل اول: مقدمه ۹

۱-۱- پیشگفتار ۹

۱-۲- طراحی مسیر در سیستم‌های رباتیکی ۹

۱-۲-۱- طراحی مسیر در فضای کار و فضای پیکربندی ۳

۱-۲-۲- طراحی مسیر بهینه در ربات‌های دارای افزونگی درجات آزادی ۴

۱-۲-۳- هوش مصنوعی در طراحی مسیر بهینه ۵

۱-۳- مروری برکارهای انجام شده ۶

۱-۳-۱- طراحی مسیر در سیستم‌های رباتیکی ۶

۱-۳-۲- بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند ۶

۱-۳-۳- طراحی مسیر بهینه در سیستم‌های رباتیکی با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند ۷

۱-۳-۴- طراحی مسیر بهینه در سیستم‌های رباتیکی به صورت برخط ۷

۱-۴- تعریف مساله ۸

۱-۵- روند تدوین پایان‌نامه ۱۰

۲- فصل دوم: مدلسازی ریاضی مسئله طراحی مسیر برای ربات‌های دارای افزونگی درجات آزادی ۴

۲-۱- مقدمه ۴

۲-۲- روابط حاکم بر مسئله بهینه‌سازی مسیر برای اندیس‌های سینماتیکی ۴

۲-۲-۱- معادلات سینماتیک ربات صفحه‌ای سری با سه درجه آزادی ۱۳

۲-۲-۲- معادلات سینماتیک مجموعه ربات همکار صفحه‌ای با پنج درجه آزادی ۱۴

۲-۳- مدل‌سازی دینامیکی سیستم‌های مورد مطالعه ۱۶

۲-۳-۱- دینامیک سیستم‌های مقید ۱۷

۲-۳-۲- معادلات حرکت سیستم ربات صفحه‌ای سری با سه درجه آزادی ۲۰

۲-۳-۳- معادلات حرکت مجموعه ربات همکار با پنج درجه آزادی ۲۱

۲-۴- طراحی بهینه مسیر با استفاده از بهینه‌سازی پارامتری ۲۲

۳- فصل سوم: مقدمه‌ای بر روش‌های هوش مصنوعی ۱۱

۳-۱- محاسبه تکاملی و الگوریتم ژنتیک ۱۱

۳-۱-۱-Crossover ۲۴

۳-۱-۲-Mutation ۲۵

۳-۲- الگوریتم‌های هوش دسته‌جمعی ۲۶
۳-۲-۱- الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات ۲۶
۳-۲-۲- بهینه‌سازی کلونی زنبورها ۳۰
۳-۳- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۳۳

۴- فصل چهارم: طراحی مسیر بهینه در فضای مفاصل با استفاده از یک اندیس سینماتیکی و دینامیکی برای ربات‌های افزونه ۲۴
۴-۱- طراحی مسیر بهینه ربات سری برای یک اندیس سینماتیکی ۲۴
۴-۱-۱- طراحی مسیر بهینه بدون حضور مانع ۲۴
۴-۱-۲- طراحی مسیر بهینه در حضور قیود نامساوی ۴۲
۴-۱-۳- طراحی مسیر بهینه در حضور مانع ثابت ۴۷
۴-۲- ربات موازی ۵۱
۴-۲-۱- طراحی مسیر بهینه بدون حضور مانع ۵۲
۴-۲-۲- طراحی مسیر بهینه در حضور مانع ثابت ۶۱
۴-۳- طراحی مسیر بهینه برای ربات سری با استفاده از اندیس دینامیک ۶۷
۴-۳-۱- طراحی مسیر بهینه در حالت بدون مانع ۶۷
۴-۳-۲- طراحی مسیر بهینه در حضور مانع ثابت ۷۲
۴-۴- جمع‌بندی نتایج ۷۷

۵- فصل پنجم: طراحی مسیر بهینه برای ربات‌های افزونه در یک محیط دینامیکی با استفاده از شبکه‌های عصبی آموزش داده شده ۳۸
۵-۱- طراحی بهینه مسیر در یک محیط دینامیکی برای مسیر داده شده پنجه ۳۸
۵-۱-۱- اصلاح خطای ناشی از شبکه عصبی ۸۰
۵-۲- طراحی بهینه مسیر در یک محیط دینامیکی برای حرکت پنجه از نقطه مبدا به نقطه هدف ۸۴
۵-۲-۱- اصلاح خطای ناشی از شبکه عصبی ۸۸
۵-۳- طراحی بهینه مسیر در یک محیط دینامیکی برای حرکت پنجه از نقطه مبدا به نقطه هدف با اصلاح الگوریتم آموزش برای موقعیت قبلی مانع ۹۲

۶- فصل ششم:نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۰

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- بازوی صنعتی در سه بعد ۳
شکل ۱-۲– ربات صفحه‌ای سری با سه درجه آزادی ۹
شکل ۱-۳ - ربات همکار با ۵ درجه آزادی ۹
شکل ۲-۱ - مجموعه ربات همکار با ۵ درجه آزادی ۱۴
شکل ۲-۲- چگونگی تعریف μ و θ ۱۴
شکل ۳-۱- نحوه عملکرد crossover بر اساس بیان باینری ۲۴
شکل ۳-۲- نمونههایی از عملکرد عملگر Mutation ۲۵
شکل ۳-۳- تغییرات و نحوه تعیین محل بعدی ذرات در PSO ۲۸
شکل ۳-۴- شبه کد الگوریتم PSO ۲۹
شکل ۳-۵- فلوچارت کلی الگوریتم PSO ۲۹
شکل ۳-۶- Round Dance در کلونی زنبورها ۳۰
شکل ۳-۷- Waggle Dance در کلونی زنبورها ۳۱
شکل ۳-۸- مغز به عنوان یک شبکه عصبی بسیار بزرگ ۳۳
شکل ۳-۹- نورون مصنوعی ۳۴
شکل ۳-۱۰- شبکه عصبی مصنوعی ۳۴
شکل ۴-۱- مقدار حدی q_{10} ۳۷
شکل ۴-۲- تغییرات اندیس P بر حسب q_{10} در نقطه شروع ۳۸
شکل ۴-۳- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از ABC ۳۹
شکل ۴-۴- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از GA ۴۰
شکل ۴-۵- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از PSO ۴۱
شکل ۴-۶- مسیر x پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم ۴۱
شکل ۴-۷- مسیر y پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم ۴۱
شکل ۴-۸- نمودار خطای مسیر بر حسب زمان ۴۲
شکل ۴-۹- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از GA ۴۴
شکل ۴-۱۰- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از PSO ۴۴
شکل ۴-۱۱- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از ABC ۴۵
شکل ۴-۱۲- مسیر x پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم در حضور قید نامساوی ۴۵
شکل ۴-۱۳- مسیر y پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم در حضور قید نامساوی ۴۶
شکل ۴-۱۴- نمودار خطا بر حسب زمان در حضور قید نامساوی ۴۶

شکل۴-۱۵-چگونگی قرارگیری مانع نسبت به ربات در فضای کار ۴۷
شکل ۴-۱۶-نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از ABC ۴۸
شکل ۴-۱۷-نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از GA..... ۴۹
شکل ۴-۱۸- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از PSO ۴۹
شکل۴-۱۹- مسیر x پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم در حضور مانع دایره‌ای ۵۰
شکل۴-۲۰- مسیر y پنجه مطلوب و مسیر طیشده توسط هر الگوریتم در حضور مانع دایره‌ای..... ۵۰
شکل۴-۲۱- نمودار خطا بر حسب زمان در حضور مانع دایره‌ای ۵۰
شکل ۴-۲۲- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از ABC..... ۵۲
شکل ۴-۲۳- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از GA..... ۵۳
شکل ۴-۲۴- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از PSO ۵۴
شکل۴-۲۵- مسیر x پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم در ربات همکار در مانور متقارن ۵۵
شکل۴-۲۶- مسیر y پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم در ربات همکار در مانور متقارن ۵۵
شکل۴-۲۷- نمودار خطا بر حسب زمان در ربات همکار در مانور متقارن ۵۵
شکل ۴-۲۸- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از ABC..... ۵۷
شکل ۴-۲۹- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از GA..... ۵۸
شکل ۴-۳۰- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها با استفاده از PSO ۵۹
شکل۴-۳۱- مسیر x پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم در ربات همکار در مانور نامتقارن ۶۰
شکل۴-۳۲- مسیر y پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم در ربات همکار در مانور نامتقارن ۶۰
شکل۴-۳۳- نمودار خطا بر حسب زمان در ربات همکار در مانور نامتقارن..... ۶۰
شکل۴-۳۴- چگونگی قرارگیری موانع نسبت به رباتها در فضای کار..... ۶۲
شکل ۴-۳۵- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها در پرهیز از موانع با استفاده از ABC ۶۳
شکل ۴-۳۶- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها در پرهیز از موانع با استفاده از GA ۶۴
شکل ۴-۳۷- نمودارهای تغییرات مسیر بر حسب زمان بازوها در پرهیز از موانع با استفاده از PSO..... ۶۵
شکل۴-۳۸- مسیر x پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم برای ربات همکار در پرهیز از موانع ۶۵
شکل۴-۳۹- مسیر y پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم برای ربات همکار در پرهیز از موانع ۶۶
شکل۴-۴۰- نمودار خطا بر حسب زمان برای ربات همکار در پرهیز از موانع..... ۶۶
شکل ۴-۴۱- نمودارهای تغییرات مسیربازوها و گشتاورها بر حسب زمان با استفاده از ABC ۶۸
شکل ۴-۴۲- نمودارهای تغییرات مسیربازوها و گشتاورها بر حسب زمان با استفاده از GA ۶۹
شکل ۴-۴۳- نمودارهای تغییرات مسیربازوها و گشتاورها بر حسب زمان با استفاده از PSO..... ۷۰
شکل۴-۴۴- مسیر x پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم ۷۱
شکل۴-۴۵- مسیر y پنجه مطلوب و مسیر طیشده توسط هر الگوریتم ۷۱
شکل۴-۴۶- نمودار خطا بر حسب زمان ۷۱

شکل ۴-۴۷- نمودارهای تغییرات مسیر بازوها و گشتاورها بر حسب زمان با استفاده از ABC در حضور مانع برای اندیس دینامیکی ۷۳
شکل ۴-۴۸- نمودارهای تغییرات مسیر بازوها و گشتاورها بر حسب زمان با استفاده از GA در حضور مانع برای اندیس دینامیکی ۷۴
شکل ۴-۴۹- نمودارهای تغییرات مسیر بازوها و گشتاورها بر حسب زمان با استفاده از PSO در حضور مانع برای اندیس دینامیکی ۷۵
شکل۴-۵۰- مسیر x پنجه مطلوب و مسیر طی شده توسط هر الگوریتم در حضور مانع برای اندیس دینامیکی ۷۵
شکل۴-۵۱- مسیر y پنجه مطلوب و مسیر طیشده توسط هرالگوریتم در حضور مانع برای اندیس دینامیکی ۷۶
شکل۴-۵۲- نمودار خطا بر حسب زمان در حضور مانع برای اندیس دینامیکی ۷۶
شکل۵-۱- ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه عصبی ۷۹
شکل۵-۲- دیاگرام اصلاح خطا در هر گام ۸۰
شکل۵-۳- مسیر y حرکت مانع بر حسب زمان ۸۱
شکل۵-۴- مسیر x حرکت مانع بر حسب زمان ۸۱
شکل۵-۵- چگونگی حرکت ربات در حالت مانع ثابت ۸۲
شکل۵-۶- چگونگی حرکت ربات بر روی مسیر و اجتناب از برخورد به مانع ۸۲
شکل۵-۷- نرم خطای حرکت ربات ۸۲
شکل۵-۸- مسیر y حرکت مانع بر حسب زمان در حالت اندیس دینامیکی ۸۳
شکل۵-۹- مسیر x حرکت مانع بر حسب زمان در حالت اندیس دینامیکی ۸۳
شکل۵-۱۰- چگونگی حرکت ربات بر روی مسیر و اجتناب از برخورد به مانع در حالت اندیس دینامیکی ۸۳
شکل۵-۱۱- نرم خطای حرکت ربات در حالت اندیس دینامیک ۸۴
شکل۵-۱۲-مسیر y طی شده توسط ربات و مسیر مطلوب ۸۵
شکل۵-۱۳- مسیر x طی شده توسط رباتو مسیر مطلوب ۸۵
شکل۵-۱۴-نرم خطای مسیر حرکت ۸۶
شکل۵-۱۵- چگونگی حرکت ربات روی مسیر در حضور مانع در حالت اندیس سینماتیک ۸۶
شکل۵-۱۶-مسیر y طی شده توسط ربات و مسیر مطلوب بهینه‌سازی شده در حالت اندیس دینامیکی ۸۷
شکل۵-۱۷-مسیر x طی شده توسط ربات و مسیر مطلوب بهینه‌سازی شده در حالت اندیس دینامیکی ۸۷
شکل۵-۱۸- نرم خطای مسیر در حالت اندیس دینامیکی ۸۷
شکل۵-۱۹- چگونگی حرکت ربات روی مسیر در حضور مانع در حالت اندیس دینامیک ۸۷
شکل۵-۲۰- ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه عصبی در طراحی بهینه مسیر با استفاده از موقعیت مانع ۸۸
شکل۵-۲۱- مسیر y حرکت مانع بر حسب زمان ۸۹
شکل۵-۲۲- مسیر x حرکت مانع بر حسب زمان ۸۹
شکل۵-۲۳- چگونگی حرکت ربات بر روی مسیر و اجتناب از برخورد به مانع با سنجیدن موقعیت مانع ۸۹

شکل۵-۲۴- مسیر x حرکت پنجه در عدم برخورد به مانع با سنجش موقعیت مانع، بر حسب زمان..... ۹۰
شکل۵-۲۵- مسیر y حرکت پنجه در عدم برخورد به مانع با سنجش موقعیت مانع،بر حسب زمان ۹۰
شکل۵-۲۶- مسیر y حرکت مانع بر حسب زمان در حالت اندیس دینامیک..... ۹۰
شکل۵-۲۷- مسیر x حرکت مانع بر حسب زمان در حالت اندیس دینامیک..... ۹۰
شکل۵-۲۸- چگونگی حرکت ربات بر روی مسیر و اجتناب از برخورد به مانع در حالت اندیس دینامیکی با سنجیدن موقعیت مانع..... ۹۱
شکل۵-۲۹- مسیر y حرکت ربات و مسیر مطلوب در حالت اندیس دینامیکی با سنجش موقعیت مانع ۹۱
شکل۵-۳۰- مسیر x حرکت ربات و مسیر مطلوب در حالت اندیس دینامیکی با سنجش موقعیت مانع ۹۱
شکل۵-۳۱- ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه عصبی در طراحی بهینه مسیر با استفاده از موقعیت فعلی و قبلی مانع ۹۲
شکل۵-۳۲- مسیر y حرکت مانع بر حسب زمان..... ۹۲
شکل۵-۳۳- مسیر x حرکت مانع بر حسب زمان..... ۹۲
شکل۵-۳۴- چگونگی حرکت ربات بر روی مسیر و اجتناب از برخورد به مانع در حالت سنجش موقعیت فعلی و قبلی مانع..... ۹۳
شکل۵-۳۵- مسیر y حرکت پنجه در عدم برخورد به مانع با سنجش موقعیت و سرعت مانع، بر حسب زمان ۹۳
شکل۵-۳۶-مسیر x حرکت پنجه در عدم برخورد به مانع با سنجش موقعیت و سرعت مانع، بر حسب زمان ۹۳

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۴-۱- اندیس، انتگرال خطا و زمان حل هر الگوریتم ۴۲
جدول ۴-۲-اندیس، انتگرال خطا و زمان حل هر الگوریتم در حضور قید نامساوی..... ۴۶
جدول ۴-۳- اندیس، انتگرال خطا و زمان حل هر الگوریتم در حضور مانع دایره‌ای..... ۵۱
جدول ۴-۴- اندیس، انتگرال خطا و زمان حل هر الگوریتم در ربات همکار در مانور متقارن ۵۶
جدول ۴-۵- اندیس، انتگرال خطا و زمان حل هر الگوریتم در ربات همکار در مانور نامتقارن..... ۶۱
جدول ۴-۶- اندیس، انتگرال خطا و زمان حل هر الگوریتم برای ربات همکار در پرهیز از موانع ۶۶
جدول ۴-۷- اندیس، انتگرال خطا و زمان حل هرالگوریتم در ربات سری برای اندیس دینامیکی ۷۲
جدول ۴-۸- اندیس، انتگرال خطا و زمان حل هرالگوریتم در ربات سری در حضور مانع برای اندیس دینامیکی..... ۷۶
جدول ۴-۹- نتایج مربوط به طراحی بهینه مسیر برای اندیس سینماتیکی برای ربات‌های سری و موازی افزونه ۷۷
جدول ۴-۱۰- نتایج مربوط به طراحی بهینه مسیر برای اندیس دینامیکی برای ربات سری افزونه ۷۷

چکیده

یکی از مسایل مهم در سیستم‌های رباتیکی و بازوهای مکانیکی، طراحی مسیر است. مسئله طراحی مسیر در محیط‌های شناخته شده می‌تواند به صورت خارج از خط انجام گیرد. اما چنانچه محیط حرکتی ربات بطور کامل شناخته شده نباشد و تغییرات از قبل پیش‌بینی نشده‌ای داشته باشد، طراحی مسیر عملا می‌بایست بصورت همزمان انجام گیرد و در این طراحی مسیر، سرعت و دقت محاسباتی الگوریتم‌های مورد استفاده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چنانچه مسئله طراحی مسیر همراه با بهینه‌سازی یک تابع مشخص باشد و در اصطلاح، طراحی یک مسیر بهینه مدنظر باشد، این مشخصه‌های الگوریتم‌های محاسباتی، اهمیت مضاعفی خواهند داشت. مسئله طراحی مسیر در ربات‌های با افزونگی درجه آزادی به دلیل همین افزونگی منجر به حل یک مسئله بهینه‌سازی می‌شود. این مسئله هم می‌تواند به صورت بهینه‌سازی محض یا بهینه-سازی دینامیکی حل شود و هم می‌تواند به صورت بهینه‌سازی پارامتری یا بهینه‌سازی جبری انجام گیرد. در مسئله طراحی مسیر بهینه به صورت پارامتری با فرض توابع حل به صورت ترکیبی از توابع شناخته شده، در عمل مسئله بهینه‌سازی منجر به پیداکردن بهترین ترکیب و ضرایب مربوط به آن می‌شود. در این پایان‌نامه، برای طراحی بهینه مسیر، از الگوریتم‌های هوشمند بهره گرفته شده است. طراحی مسیر بهینه بازوهای مکانیکی با افزونگی درجات آزادی در فضای مفاصل، به گونه‌ایانجام می‌گیرد که مسیر داده شده در فضای کار را دنبال کرده و در حین حرکت اندیس سینماتیکی و دینامیکی داده شده‌ای بهینه گردد و این کار برای یک ربات صفحه‌ای سری و یک ربات صفحه‌ای موازی در حضور قیدهایی که شامل معادلات دینامیکی و سینماتیکی حاکم می‌باشند، انجام می‌شود. به منظور اعتبارسنجی پاسخ الگوریتم‌ها در ابتدا پاسخ آن‌ها با روش جستجو مقایسه شده است. برای هر یک از حالات مختلف مسئله و قیدها، طراحی مسیر با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، شامل الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبورها، انجام شده و نتایج آن‌ها با هم مقایسه می‌شوند. با مقایسه این نتایج مشخص شده است که در طراحی بهینه مسیر، الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات از سرعت و دقت بسیار بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌های هوشمند مورد استفاده، برخوردار است. به همین دلیل از این الگوریتم به منظور تولید داده، برای آموزش شبکه عصبی در طراحی بهینه مسیر به صورت بلادرنگ بهره گرفته شده است. در ادامه مسئله طراحی مسیر در محیط دینامیکی و با استفاده از شبکه عصبی انجام می‌گیرد. این طراحی مسیر در ابتدا برای حالتی که مسیر حرکت پنجه معلوم است و سپس برای مسیر نامعلوم حرکت پنجه و با مشخص بودن نقطه ابتدا و انتهایی مسیر انجام می‌شود که در این حالت می‌بایست مسیر حرکت در طی مسئله بهینه‌سازی محاسبه شود. در این بخش نیز طراحی مسیر در دو حالت محیط استاتیکی و دینامیکی انجام می‌شود و در محیط دینامیکی از شبکه عصبی استفاده شده و در این طراحی مسیر دو روش ارائه شده که در روش اول از سنجش موقعیت مانع و در روش دوم از سنجش موقعیت و سرعت مانع برای تخمین مسیر استفاده می‌شود و چون خطا اجتناب ناپذیر است،الگوریتمی برای اصلاح خطا ارائه شده است.

کلمات کلیدی: طراحی مسیر، ربات‌های افزونه، بهینه‌سازی، الگوریتم‌های هوشمند، موقعیت و سرعت مانع، همزمان(بلادرنگ)

فصل اول

فصل اول: مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

علاقه بشر به انجام فعالیت‌های خود به طور خودکار موجب گسترش روزافزون علم رباتیک و کاربرد آن شده است. توانایی‌های بسیار زیادی که در ربات وجود دارد موجب افزایش هر چه بیشتر استفاده از ربات در فعالیت‌های صنعتی، پزشکی و مانند آن شده است.با این وجود مسائل پیچیده و حل نشده زیادی در این رابطه وجود دارد که محققین و کارشناسان به آن‌ها می‌پردازند. یکی از این مسائل مهم در سیستم‌های رباتیکی و بازوهای مکانیکی، طراحی مسیر است. هدف از طراحی مسیر[1] پیدا کردن هندسه حرکت ربات یا پنجه ربات بر حسب تغییرات زمانی آن می‌باشد.

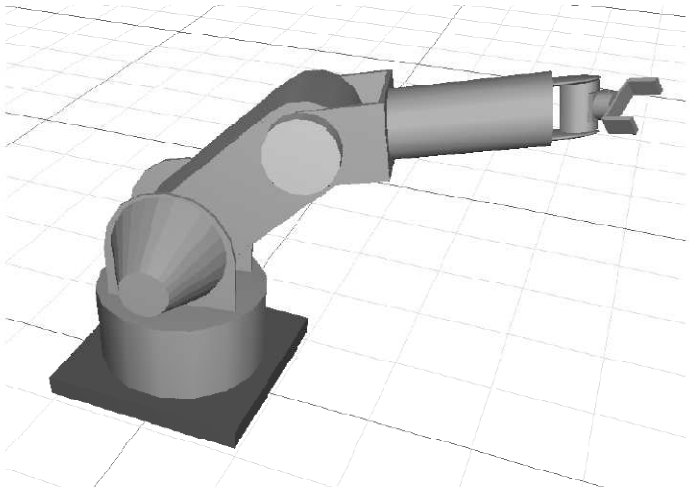
در این فصل در ابتدا مقدمه‌ای در خصوص طراحی مسیر، افزونگی در ربات‌ها و هوش مصنوعی به طور مختصر بیان می‌شود و سپس به برخی پژوهش‌های انجام شده در این رابطه اشاره شده و در پایان مسئله مورد نظر که در این پایان‌نامه مد نظر قرار گرفته شده است، به اختصار بیان می‌گردد.

۱-۲- طراحی مسیر در سیستم‌های رباتیکی

طراحی مسیر نقشی مهم در رشته‌ها، کاربردها و تحقیقات مختلف ایفا می‌کند. به عنوان مثال در طراحی به کمک

1- Path planning

کامپیوتر (CAD)[1]، بازی‌های کامپیوتری، زیست‌شناسی ملکولی و رباتیک کاربرد دارد. در کلی‌ترین نوع، طراحی مسیر برای جرم‌ها از نقطه‌ای به نقطه دیگر در محیط‌های مختلف است. یکی از بیشترین دغدغه‌ها در مسئله طراحی مسیر، هنگامی رخ می‌دهد که حالت‌های موجود گسسته نبوده و پیوسته باشند. به عنوان مثال از بازوی صنعتی[2] می‌توان نام برد که نمونه آن در شکل۱-۱ نشان داده شده است. این ربات باید در محیطی سه بعدی حرکت کرده و این در حالیست که نباید به موانع و خودش برخورد کند.



شکل۱-۱- بازوی صنعتی در سه بعد

مسئله طراحی مسیر ربات‌ها از جمله مسائل قدیمی در شاخه علم رباتیک است که محققین زیادی به آن پرداخته-اند و امروزه کتاب‌های پایه مختلفی در این خصوص تدوین شده است[۱]. بسیاری از مطالعات در طراحی مسیر بر روی محیط‌های استاتیک صورت گرفته است. در محیط استاتیک موانع ثابت هستند و در محیط دینامیک، مانع متحرک بوده و به عنوان مثال می‌توان از ربات پایه متحرکی که در یک کارخانه کار می‌کند نام برد. به منظور طراحی مسیر برای این ربات می‌بایست موانع را متحرک در نظر گرفت که این موانع شامل انسان‌های متحرک، ربات‌های دیگر و خود ربات می‌باشد.

۱-۲-۱- طراحی مسیر در فضای کار و فضای پیکربندی[3]

مسئله طراحی مسیر در حالت کلی، یک مسئله هندسی است و شامل چهار جزء می‌باشد :

- تعیین هندسه جسم متحرک

1 - Computer aided design
2 - Industrial manipulator robot
3 - Configuration space

- تعیین هندسه‌ای که ربات یا جسم متحرک در آن هندسه کار می‌کند که به آن فضای کار گویند
- درجات آزادی حرکت ربات
- تعیین نقطه شروع و پایان حرکت ربات

با تعیین این مشخصات می‌توان فضای پیکربندی را مشخص کرد. برای اولین بار، فضای پیکربندی توسط Lozano – Perez در اواخر دهه ۷۰ بیان شده است. به عنوان مثال فضای پیکربندی مربوط به ربات متحرک، توسط دو پارامترx,y بیان می‌شود و فضای پیکربندی مربوط به یک بازو توسط زوایای بین بازوها مشخص می‌شود. مینیمم تعداد پارامترهای مشخص‌کننده فضای پیکربندی بیانگر تعداد درجه آزادی می‌باشد.

۱-۲-۲- طراحی مسیر بهینه در ربات‌های دارای افزونگی درجات آزادی

در بسیاری از کاربردها، درجه آزادی اضافی در ربات به منظور بدست آوردن چند هدف استفاده می‌شود[۲] :

- پرهیز از موانع[۱]
- پرهیز از منفرد[۲] شدن ربات
- پرهیز از مینیمم محلی[۳]
- سنجش مهارت ربات

به همین دلیل برای دستیابی به ربات‌های کارا و مسلط[۴]، می‌توان ربات‌ها را افزونه طراحی نمود. مسئله طراحی مسیر، در فضای پیکربندی برای یک مسیر پنجه مشخص، معمولا یک مسئله سینماتیک معکوس فرض می‌شود. حل این مسئله برای یک ربات با درجه آزادی اضافی[۵] دشوار است. مسئله طراحی مسیر در ربات‌های با افزونگی درجه آزادی به دلیل همین افزونگی منجر به حل یک مسئله بهینه‌سازی می‌شود. این مسئله هم می‌تواند به صورت بهینه‌سازی محض یا بهینه‌سازی دینامیکی حل شود و هم می‌تواند به صورت بهینه‌سازی پارامتری یا بهینه‌سازی جبری انجام گیرد. در مسئله بهینه‌سازی دینامیکی مسئله از نوع آنالیز توابعی[۶] است و منجر به دسته‌ای از معادلات دیفرانسیل مقید یا نامقید می‌شود که حل آن‌ها توابع مورد نظر را نتیجه می‌دهد. در مسئله طراحی مسیر بهینه به صورت پارامتری با فرض توابع حل به صورت ترکیبی از توابع شناخته شده، در عمل مسئله بهینه‌سازی منجر به پیداکردن بهترین ترکیب و ضرایب مربوط به آن می-شود.

1 - Obstacles
2 - Singularity
3 - Local minimum
4- Dexterous
5 - Redundant degree of freedom
6- Function Analysis

۱-۲-۳- هوش مصنوعی[1] در طراحی مسیر بهینه

امروزه حل بسیاری از مسائل ریاضی و شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده با استفاده از الگوریتم‌هایی که بر اساس مدل‌هایی از هوش طبیعی و بر اساس الگوریتم حاکم بر موجودات زنده ساخته شده‌اند، انجام می‌گیرد. این الگوریتم‌ها که الگوریتم‌های هوشمند[2] نامیده می‌شوند شامل : شبکه‌های عصبی مصنوعی[3]، محاسبات تکاملی[4]، هوش جمعی[5] و سیستم‌های فازی[6] می‌باشند. این الگوریتم‌ها، همگی جزئی از شاخه هوش مصنوعی[7] بوده و تنها با مشاهده این تکنیک-های متنوع و وسیع می‌توان دریافت که هوش مصنوعی ترکیبی از چندین زمینه تحقیق است. این زمینه‌ها نوعا علم کامپیوتر[8]، علم طبیعی[9]، فلسفه[10]، جامعه‌شناسی[11] و زیست‌شناسی[12] می‌باشد [۳].

در هوش محاسباتی[13]مطالعه بر روی مکانیزم‌هایی تطبیقی است تا توانایی و یا سهولت رفتارهایی هوشمند در محیط‌هایی دشوار و متغیر را حاصل کند. این مکانیزم‌ها شامل الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌باشد. اگرچه در گذشته از این روش‌ها به صورت انفرادی استفاده می‌شد، اما امروزه برای حل موفق و مناسب مسائل واقعی جهان، گرایش به سمت ترکیب این الگوریتم‌ها است[۳].

مسئله طراحی مسیر در محیط‌های شناخته شده می‌تواند به صورت غیر همزمان[14] یا خارج از خط انجام گیرد. اما چنانچه محیط حرکتی ربات بطور کامل شناخته شده نباشد و تغییرات از قبل پیش‌بینی نشده‌ای داشته باشد، طراحی مسیر عملا می‌بایست بصورت همزمان[15] یا برخط انجام گیرد. یکی از مسایل مهم در طراحی مسیر، خصوصا در حالت همزمان، سرعت و دقت محاسباتی الگوریتم‌های مورد استفاده است. چنانچه مسئله طراحی مسیر همراه با بهینه‌سازی یک تابع مشخص باشد و در اصطلاح، طراحی یک مسیر بهینه مدنظر باشد، مشخصه‌های الگوریتم‌های محاسباتی مورد استفاده، اهمیت مضاعفی خواهند داشت.کندی روش‌های حل مسئله بهینه‌سازی دینامیکی، کاربری آن‌ها را در مسائل طراحی مسیر بهینه برخط عملا غیر ممکن می‌سازد. لذا در عمل، مسئله طراحی مسیر بهینه برخط به صورت پارامتری یا جبری حل می‌شود. در این صورت الگوریتم‌های هوشمند توسعه‌یافته در مسئله بهینه‌سازی می‌توانند در حل مسائل

---

1 - Artificial Intelligence
2- Intelligent Algorithms
3 - Artificial Neural Network
4 - Evolutionary Computation
5 - Swarm Intelligence
6 - Fuzzy System
7 - Artificial Intelligence
8 - Computer science
9 - Physiology
10 - Phylosophy
11 - Sociology
12 - Biology
13 - Computational Intelligence
14 - Off-line
15 - On-line

طراحی مسیر بهینه نیز بکار گرفته شوند.

۱-۳- مروری بر کارهای انجام شده

از آنجا که هدف اصلی در این پایان‌نامه، طراحی مسیر یک ربات با افزونگی درجات آزادی در محیط‌های استاتیکی و دینامیکی با استفاده از الگوریتم‌های محاسباتی هوشمند است، مرور بر کارهای اتجام شده در این بخش، در چهار سرفصل جداگانه ارائه شده است.

۱-۳-۱- طراحی مسیر در سیستم‌های رباتیکی

هولرباخ و سو [۴] در سال ۱۹۸۷ به بررسی مسئله ربات‌های با درجات آزادی اضافی از دو دیدگاه سینماتیکی و دینامیکی پرداخته و مسئله طراحی مسیر برای اینگونه ربات‌ها را برای بهینه‌سازی نیروهای اعمالی توسط عملگرها حل نمودند. سشادری و همکارش [۵] در سال ۱۹۹۳ مسیر بهینه را برای بازوهایی که در معرض مانع و بازوی دیگر بودند با استفاده از حساب تغییرات و کنترل بهینه، طراحی تمودند.جرلین و همکارانش [۶] در سال ۱۹۹۹ طراحی مسیر بهینه را برای یک ربات افزونه به منظور دنبال کردن تسمه نقاله انجام دادند و محدودیت‌های مسیر مشخص برای پنجه، پرهیز از مانع و همچنین محدودیت برای سرعت زاویه‌ای را نیز به مسئله اعمال کردند. وانگ و همکارش [۷] در سال ۲۰۰۰ طراحی مسیر را با استفاده از رشته‌های پتانسیل و انتقال حرارت انجام دادند بدین صورت که مسیر بهینه، مسیری است که کمترین مقاومت هدایتی را داشته باشد. داسگوپتا [۸] در سال ۲۰۰۸ روشی را پیشنهاد کرد که در این روش اولا به مسئله طراحی مسیر به دید یک مسئله بهینه‌سازی می‌نگریست و گرافی را رسم می‌کرد که این گراف با توجه به محدودیت‌ها و پارامترها از به هم متصل کردن نقاط عبوری ربات حاصل می‌شد و از این طریق بهینه یا کوتاه‌ترین مسیر را بدست می‌آورد. بودهال [۹] در سال ۲۰۰۹ روشی را برای طراحی مسیر برای ربات‌های متحرک در کارخانه‌ها که در معرض موانع متحرک نیز می‌باشد پیشنهاد داد که در این روش از تابع پتانسیل و محلی‌کردن[1] مونت کارلو برای ناوبری[2] استفاده شده است و همچنین از پردازش تصویر برای محیط استفاده می‌شود. همایی و کشمیری [۱۰] در سال ۲۰۰۹ طراحی مسیر را به منظور مینیمم کردن ارتعاشات برای بازوهای منعطف همکار انجام دادند.

۱-۳-۲- بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند

ابوالبشری [۱۱] در سال ۲۰۰۴ از الگوریتم‌های تکاملی برای بهینه‌سازی سازه‌های پیوسته دوبعدی و سه بعدی

1 - Localization
2 - Navigation