بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده برق و رباتیک
گروه رباتیک

کنترل فازی تطبیقی ردگیری بازوی رباتیک متحرک چرخدار با راهبرد کنترل ولتاژ

مجید عابدین زاده شهری

استاد راهنما :
پروفسور محمد مهدی فاتح

شهریور ۱۳۹۳

شماره : ۱۱۹۳/آ.ت.ب
تاریخ : ۹۳/۰۶/۱۷
ویرایش : ------

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای :

مجید عابدین زاده شهری رشته : **بـــرق** گرایش : **روباتیک**

تحت عنوان : **کنترل فازی تطبیقی ردگیری بازوی رباتیک متحرک چرخدار با را هبرد کنترل ولتاژ**

که در تاریخ **۹۳/۰۶/۱۷** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : بسیار خوب امتیاز ۱۸/۹۴) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

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

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

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضـــاء
۱ـ استـاد راهنمـا	محمدمهدی فاتح	استاد	
۲ـ استـاد مشـاور	—	—	—
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	سعیدمهدی زاده عرفی	استادیار	
۴ـ استـاد ممتحـن	امیر اکبرزاده	استادیار	
۵ ـ استـاد ممتحـن	امین حاجی زاده	استادیار	

رئیس دانشکده :

قدردانی

قبل از هر چیز لازم می‌دانم که از زحمات استاد گرامی جناب آقای پروفسور فاتح صمیمانه قدردانی و تشکر نمایم که در طی دوران تحصیل همواره بهترین راهنما و مشوق بنده بوده‌اند.

همچنین از پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی مرا یاری نمودند و در به سرانجام رساندن این امر نقش موثری داشته‌اند، کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **مجید عابدین زاده شهری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی رباتیک دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **کنترل فازی تطبیقی ردگیری بازوی رباتیک متحرک چرخدار با راهبرد کنترل ولتاژ** تحت راهنمائی **پروفسور محمد مهدی فاتح** متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه 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 می باشد 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 پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ ۹۳/۶/۲۴

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در این پایان‌نامه یک روش نوین کنترل فازی تطبیقی ردگیری برای بازوی رباتیک سیار چرخ‌دار غیرهولونومیک ارائه شده است. نوآوری روش پیشنهادی در جبران خطای تقریب سیستم فازی برای همگرایی مجانبی در ردگیری مسیر مطلوب با حضور عدم قطعیت‌هاست. از دیگر ویژگی‌های طرح پیشنهادی سادگی در طراحی و عملکرد مناسب در ردگیری مسیر مطلوب در حضور عدم قطعیت‌هاست و پایداری طرح کنترلی تضمین می‌شود. طرح پیشنهادی مبتنی بر دو راهبرد کنترل گشتاور و ولتاژ ارائه شده است تا مقایسه دو راهبرد بهتر انجام شود. مسئله‌ی کنترل ردگیری برای دو مسیر فضای مفصلی و کار ربات بررسی و ارائه می‌گردد. در انتها، روش نوین کنترل فازی تطبیقی برای ردگیری مسیر ربات مبتنی بر راهبرد کنترل ولتاژ می‌گردد. پایداری سیستم کنترل بررسی و تضمین می‌شود. همچنین عملکرد کنترل‌کننده‌ها با چند روش قبلی این حوزه مقایسه می‌شود. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با ساختاری ساده‌تر خطای ردگیری را کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: بازوی رباتیک سیار چرخ‌دار غیرهولونومیک، کنترل فازی تطبیقی ردگیری، جبران خطای تقریب سیستم فازی، راهبرد کنترل ولتاژ

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه:

مقالات پذیرفته شده

[1]. M. M. Fateh, M. Abedinzadeh Shahri, **"A Fuzzy Logic Based Motion Control for Nonholonomic Mobile Manipulator Robots"**, The 2nd RSI International Conference on Robotics and Mechatronics(ICRoM 2014).

مقالات تحت داوری

[2]. M. M. Fateh, M. Abedinzadeh Shahri, **"Adaptive Fuzzy Control of a Mobile Manipulator Robot"**, Journal of Solid and Fluid Mechanics.

[3]. M. M. Fateh, M. Abedinzadeh Shahri, **"Hybrid Adaptive Fuzzy Control of a Mobile Manipulator Robot"**, International Journal of Engineering (IJE) Transactions B.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه‌ای بر بازوی رباتیک سیار	۲
۱-۲ مروری بر تحقیقات پیشین	۷
۱-۳ اهداف تحقیق	۱۱
۱-۴ مروری بر ساختار پایان‌نامه	۱۲
فصل دوم: مدل‌سازی بازوی رباتیک چرخ‌دار غیرهولونومیک	۱۳
۲-۱ مقدمه	۱۴
۲-۲ معرفی قیود هولونومیک و غیرهولونومیک در ربات‌های چرخ‌دار	۱۵
۲-۳ مدل‌سازی بازوی رباتیک چرخ‌دار غیرهولونومیک	۱۶
۲-۳-۱ معادلات سینماتیکی ربات	۱۷
۲-۳-۲ ژاکوبین ربات	۲۰
۲-۳-۳ معادلات دینامیکی ربات	۲۰
۲-۳-۳-۱ انرژی جنبشی ربات	۲۱
۲-۳-۳-۲ انرژی پتانسیل ربات	۲۱
۲-۳-۳-۳ استخراج معادلات دینامیکی ربات	۲۲
۲-۳-۴ دینامیک محرکه‌های الکتریکی	۲۴
۲-۴ مدل ربات در فضای مفصلی	۲۵
۲-۵ مدل ربات در فضای کار	۲۷
فصل سوم: راهبرد کنترل گشتاور	۳۰
۳-۱ مقدمه	۳۱
۳-۲ کنترل بر مبنای مدل ردگیری مسیر در فضای مفصل ربات با راهبرد کنترل گشتاور	۳۱
۳-۲-۱ تعریف مسئله‌ی ردگیری و طراحی کنترل‌کننده	۳۲
۳-۲-۱-۱ کنترل سینماتیک	۳۲
۳-۲-۱-۲ کنترل دینامیکی خطی‌ساز پس‌خورد بر مبنای مدل	۳۴
۳-۲-۲ نتایج شبیه سازی	۳۶
۳-۲-۲-۱ شبیه سازی اول	۳۶
۳-۲-۲-۲ شبیه سازی دوم	۳۸

۳-۳ نتیجه گیری ۴۰

فصل چهارم : کنترل فازی تطبیقی ردگیری ربات با راهبرد کنترل گشتاور ۴۱

۴-۱ مقدمه ۴۲
۴-۲ ردگیری مسیر در فضای مفصلی ربات ۴۲
۴-۲-۱ تعریف مسئله‌ی ردگیری و طراحی کنترل‌کننده ۴۲
۴-۲-۱-۱ کنترل سینماتیک ۴۳
۴-۲-۱-۲ کنترل دینامیکی فازی تطبیقی ۴۴
۴-۲-۱-۲-۱ کنترل مود-لغزشی فازی ۴۵
۴-۲-۱-۲-۲ کنترل خطی تطبیقی ۴۸
۴-۲-۱-۳ کنترل دینامیکی تطبیقی مقاوم ۵۲
۴-۲-۲ نتایج شبیه سازی ۵۲
۴-۳ ردگیری مسیر در فضای کار ربات ۵۵
۴-۳-۱ تعریف مسئله‌ی ردگیری و طراحی کنترل‌کننده ۵۵
۴-۳-۱-۱ کنترل فازی تطبیقی ۵۶
۴-۳-۱-۱-۱ کنترل مود-لغزشی فازی ۵۸
۴-۳-۱-۱-۲ کنترل خطی تطبیقی ۵۹
۴-۳-۱-۲ کنترل مقاوم تطبیقی ۶۲
۴-۳-۲ نتایج شبیه سازی ۶۳
۴-۴ نتیجه گیری ۶۷

فصل پنجم: راهبرد کنترل ولتاژ ۶۸

۵-۱ مقدمه ۶۹
۵-۲ کنترل بر مبنای مدل ردگیری مسیر در فضای مفصلی ربات با راهبرد کنترل ولتاژ ۶۹
۵-۲-۱ تعریف مسئله‌ی ردگیری و طراحی کنترل‌کننده ۶۹
۵-۲-۱-۱ کنترل سینماتیک ۷۰
۵-۲-۱-۲ کنترل دینامیکی خطی‌ساز پس‌خورد بر مبنای مدل ۷۰
۵-۲-۲ نتایج شبیه سازی ۷۱
۵-۲-۲-۱ شبیه سازی اول ۷۲
۵-۲-۲-۲ شبیه سازی دوم ۷۴
۵-۳ نتیجه گیری ۷۶

فصل ششم: کنترل فازی تطبیقی ردگیری ربات با راهبرد کنترل ولتاژ ۷۷

۶-۱ مقدمه ۷۸
۶-۲ ردگیری مسیر در فضای مفصل ربات ۷۸
۶-۲-۱ تعریف مسئله‌ی ردگیری و طراحی کنترل‌کننده ۷۸
۶-۲-۱-۱ کنترل سینماتیک ۷۹
۶-۲-۱-۲ کنترل دینامیکی فازی تطبیقی ۷۹
۶-۲-۱-۲-۱ کنترل خطی‌ساز پس‌خورد ۸۱
۶-۲-۱-۲-۲ کنترل خطی تطبیقی ۸۱
۶-۲-۲ نتایج شبیه سازی ۸۵
۶-۳ ردگیری مسیر در فضای کار ربات ۸۸
۶-۳-۱ تعریف مسئله‌ی ردگیری و طراحی کنترل‌کننده ۸۸
۶-۳-۱-۱ کنترل فازی تطبیقی ۸۹
۶-۳-۱-۱-۱ کنترل خطی‌ساز پس‌خورد ۹۱
۶-۳-۱-۱-۲ کنترل خطی تطبیقی ۹۱
۶-۳-۲ نتایج شبیه سازی ۹۵
۶-۴ نتیجه گیری ۹۸

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها ۹۹

۷-۱ نتیجه گیری‌ها ۱۰۰
۷-۲ پیشنهادها ۱۰۰

مراجع ۱۰۱

فهرست تصاویر

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: ربات هوشمند با کاربرد دستیاری انسان ۲
شکل ۱-۲: بازوی رباتیک پایه ثابت ۳
شکل ۱-۳: ربات سیار چرخ‌دار ۴
شکل ۱-۴: توصیف ساختار سیستم بازوی رباتیک سیار ۵
شکل ۱-۵: بازوی رباتیک سیار ۶
شکل ۲-۱: توصیف ربات در دستگاه‌های مختصات ۱۶
شکل ۲-۲: مدار معادل موتور جریان مستقیم مغناطیس دائم ۲۵
شکل ۳-۱: نمودار بلوکی طرح کنترل پیشنهادی ۳۵
شکل ۳-۲: ردگیری مسیر توسط بدنه‌ی سیار ربات ۳۷
شکل ۳-۳: ردگیری مسیر توسط بازوی ربات ۳۷
شکل ۳-۴: نرم بردار خطای سرعت ربات ۳۷
شکل ۳-۵: تلاش‌های کنترلی ۳۸
شکل ۳-۶: ردگیری مسیر توسط بدنه‌ی سیار ربات در حضور اغتشاش ۳۹
شکل ۳-۷: ردگیری مسیر توسط بازوی ربات در حضور اغتشاش ۳۹
شکل ۳-۸: نرم بردار خطای سرعت ربات در حضور اغتشاش ۳۹
شکل ۳-۹: تلاش‌های کنترلی ۴۰
شکل ۴-۱: نمودار بلوکی طرح کنترل پیشنهادی ۴۳
شکل ۴-۲: تابع عضویت ورودی سیستم فازی ۴۴
شکل ۴-۳: توابع عضویت ورودی مود-لغزشی فازی ۴۷
شکل ۴-۴: نمودار بلوکی طرح کنترل دینامیکی فازی تطبیقی ۵۱
شکل ۴-۵: ردگیری مسیر توسط بدنه‌ی سیار ربات ۵۴
شکل ۴-۶: ردگیری مسیر توسط بازوی ربات ۵۴
شکل ۴-۷: نرم بردار خطای سرعت ربات ۵۴
شکل ۴-۸: تلاش‌های کنترلی ۵۵
شکل ۴-۹: نمودار بلوکی طرح کنترل پیشنهادی ۵۶
شکل ۴-۱۰: تابع عضویت ورودی سیستم فازی ۵۶
شکل ۴-۱۱: نمودار بلوکی طرح کنترل فازی تطبیقی ۶۴
شکل ۴-۱۲: ردگیری مسیر در فضای کار توسط ربات ۶۵
شکل ۴-۱۳: ردگیری مسیر توسط بازوی ربات ۶۶
شکل ۴-۱۴: نرم بردار خطای سرعت ربات ۶۶

شکل ۴-۱۵: تلاش‌های کنترلی ۶۷
شکل ۵-۱: نمودار بلوکی طرح کنترل پیشنهادی ۷۱
شکل ۵-۲: ردگیری مسیر توسط بدنه‌ی سیار ربات ۷۲
شکل ۵-۳: ردگیری مسیر توسط بازوی ربات ۷۲
شکل ۵-۴: نرم بردار خطای سرعت ربات ۷۳
شکل ۵-۵: تلاش‌های کنترلی ۷۳
شکل ۵-۶: ردگیری مسیر توسط بدنه‌ی سیار ربات در حضور اغتشاش ۷۴
شکل ۵-۷: ردگیری مسیر توسط بازوی ربات در حضور اغتشاش ۷۵
شکل ۵-۸: نرم بردار خطای سرعت ربات در حضور اغتشاش ۷۵
شکل ۵-۹: سیگنال تلاش کنترلی ۷۶
شکل ۶-۱: نمودار بلوکی طرح کنترل پیشنهادی ۷۹
شکل ۶-۲: تابع عضویت ورودی سیستم فازی ۸۰
شکل ۶-۳: نمودار بلوکی طرح کنترل دینامیکی فازی تطبیقی ۸۵
شکل ۶-۴: ردگیری مسیر توسط بدنه‌ی سیار ربات ۸۷
شکل ۶-۵: ردگیری مسیر توسط بازوی ربات ۸۷
شکل ۶-۶: نرم بردار خطای سرعت ربات ۸۷
شکل ۶-۷: تلاش‌های کنترلی ۸۸
شکل ۶-۸: نمودار بلوکی طرح کنترل پیشنهادی ۸۹
شکل ۶-۹: تابع عضویت ورودی سیستم فازی ۹۰
شکل ۶-۱۰: نمودار بلوکی طرح کنترل دینامیکی فازی تطبیقی ۹۶
شکل ۶-۱۱: ردگیری مسیر در فضای کار توسط ربات ۹۷
شکل ۶-۱۲: ردگیری مسیر توسط بازوی ربات ۹۷
شکل ۶-۱۳: نرم بردار خطای سرعت ربات ۹۸
شکل ۶-۱۴: تلاش‌های کنترلی ۹۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: پارامترهای سینماتیکی ربات ۲۸
جدول ۲-۲: پارامترهای دینامیکی ربات ۲۹
جدول ۲-۳: مشخصات موتورها ۲۹
جدول ۳-۱: پارامترهای کنترل‌کننده‌ها ۳۶
جدول ۴-۱: پارامترهای کترل سینماتیکی ۵۳

جدول ۴-۲: پارامترهای کنترل‌کننده‌های دینامیکی ۵۳
جدول ۴-۳: پارامترهای کنترل‌کننده‌ها ۶۳
جدول ۵-۱: پارامترهای کنترل‌کننده‌ها ۷۱
جدول ۶-۱: پارامترهای کنترل سینماتیکی ۸۶
جدول ۶-۲: پارامترهای کنترل‌کننده‌های دینامیکی ۸۶
جدول ۶-۳: پارامترهای کنترل‌کننده ۹۷

فصل اول

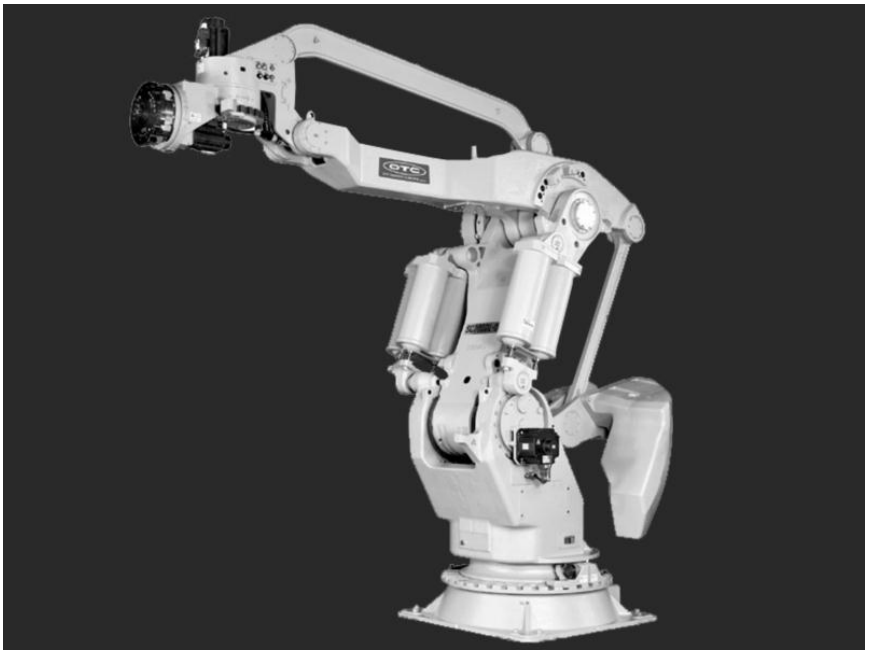
مقدمه

۱-۱ مقدمه‌ای بر بازوی رباتیک سیار

هر ماشین الکترومکانیکی، هوشمند، خودمختار، چندمنظوره، دارای حسگر برای دریافت اطلاعات از محیط و قابل برنامه‌ریزی را ربات گویند. در آینده‌ای نزدیک ربات‌ها در بیشتر عرصه‌های زندگی ما ظاهر می‌شوند، اگرچه که هنوز حضور ربات‌هایی که می‌توانند در محیط‌های انسانی کاربرد داشته باشند کاملاً بررسی نشده‌اند. با پیشرفت علم و توسعه صنعت، کاربرد سیستم‌های رباتیکی به عنوان دستیار انسان در سال‌های اخیر مورد توجه هستند.

شکل ۱-۱: ربات هوشمند با کاربرد دستیاری انسان[۱]

ربات‌ها بر اساس این که یکی از اجزای آن به زمین متصل است یا نه، به دو دسته ساکن و سیار تقسیم می‌شوند. از دهه‌های گذشته تاکنون بازوهای رباتیکی پایه ثابت(ساکن) با پیکربندی‌های ردیفی و موازی به دلیل توانمندی بالا بسیار مورد توجه بوده‌اند. فضای اصلی کاربرد بازوهای رباتیک کارخانه‌ها و فضاهای صنعتی است. این ربات‌ها با توجه به محیط کاری، قابلیت‌هایی چون جوشکاری، رنگ‌آمیزی، مونتاژ، ساییدن و صیقل دادن دارند. تحقیقاتی که در گذشته بر روی این سیستم‌ها انجام شد بیشتر بر بهبود عملکرد، دقت و سرعت متمرکز بود. هم اکنون، بازوهای رباتیک می‌توانند با سرعت و دقت بالایی، اعمال تکراری را انجام دهند. همچنین ربات‌های صنعتی موجود، غالباً مجموعه‌ای از وظایف برنامه‌ریزی‌شده را در محیط‌های کنترل شده انجام می‌دهند و معمولاً قادر به کار در محیط‌های جدید با شرایط غیرمنتظره نیستند. با وجود این مزیت‌ها، این روبات‌ها از یک ضعف بنیادی رنج می‌برند که آن عدم تحرک است که نتیجه آن محدودیت در فضای کاری این ربات‌ها است[۲, ۳].



شکل ۱-۲: بازوی رباتیک پایه ثابت[۴]

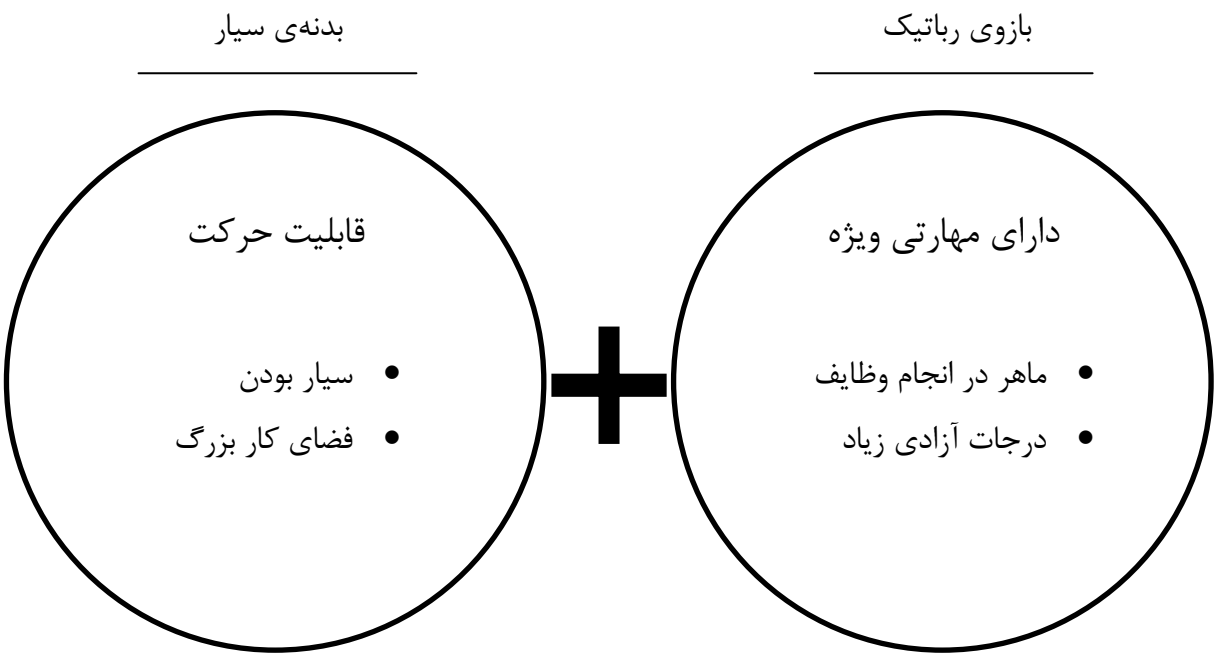
در مقابل ربات‌های سیار در محلی ثابت نشده‌اند. ربات‌های سیار خودکار سیستم‌های فیزیکی هستند که می-توانند با اهدافی مشخص و بدون دخالت انسان در محیط‌های واقعی که به طور خاص برای ربات‌ها طراحی و آماده-سازی نشده‌اند حرکت کنند. با توجه به تقاضا برای ربات‌هایی که قادر به انجام وظیفه در محیط‌های خطرناک مانند محیط‌های آلوده و یا پرتوزا و یا محیط‌های جنگی، محیط‌های دور از دسترس مانند سطح سیارات دوردست و یا محیط خارج از سفینه‌های فضایی باشند و یا برای اهداف خاصی برنامه‌ریزی شده باشند مانند ربات‌های تعمیرکار، ربات‌های خدمت‌کار و ربات‌های ویژه کمک به معلولان به سرعت در حال افزایش است، کاربرد ربات‌های سیار در حال گسترش است. ربات‌های سیار را به دو روش زیر تقسیم می‌کنند:

۱. دسته‌بندی بر اساس محیط کاری:
   - ربات‌های زمینی
   - ربات‌های زیرسطحی
   - ربات‌های هوایی
   - ربات‌های فضایی
۲. دسته‌بندی بر اساس سیستم حرکتی:
   - ربات‌های پادار
   - ربات‌های چرخ‌دار

- ربات‌های شنی‌دار
- ربات‌های مارسان
- ربات‌های کرم‌سان
- ربات‌های شناور
- ربات‌های پرنده

شکل ۱-۳: ربات سیار چرخ‌دار[۵]

ربات‌های سیار دارای قابلیت جابجایی هستند که بازوهای ماهر پایه ثابت دارای این قابلیت نیستند، در مقابل، بازوهای ماهر قابلیت انجام کارهای مختلف را دارند ولی ربات‌های سیار به تنهایی دارای این قابلیت نیستند. ترکیب ربات‌های سیار با بازوهای ماهر، بازوهای رباتیک سیار را شکل می‌دهند که قابلیت هر دو را دارند و وظایف پیچیده با فضای دسترسی وسیع را انجام می‌دهند. به این پیکربندی بازوی رباتیک سیار می‌گویند. بنابراین بازوی رباتیک سیار کمبود بازوی رباتیک ثابت را رفع کرده است[۶, ۷]. ساختار کلی یک سیستم بازوی رباتیک سیار از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است: ۱-بدنه‌ی سیار، ۲-بازوی رباتیک، ۳-سیستم بینایی و ۴-ابزارآلات. بازوهای ماهر سیار، چه خودمختار باشد چه کنترل شونده، می‌توانند در زمینه‌های مختلفی مانند ربات کاوشگر در فضا، ربات‌های نظامی، ربات‌های نگهبان، ربات‌های پرستار، صندلی متحرک هوشمند و ربات‌های مین‌یابی و پاک‌سازی بکار برده می‌شوند[۸]. اگر چه نیاز به این سیستم‌ها بسیار احساس می‌شود، با این حال صنعتی‌سازی بازوهای ماهر بسیار محدود است. البته فناوری سیستم‌های بنیادی (بدنه‌های سیار، بازوهای رباتیک، سیستم‌های بینایی و ابزارها) در گستره‌ای وسیع موجود و به تولید انبوه رسیده‌اند.



شکل ۱-۴: توصیف ساختار سیستم بازوی رباتیک سیار

امروزه بازوی رباتیک سیار و کاربردهای آن از موضوعات جذاب در زمینه کنترل، ناوبری، بینایی ماشین و هوش مصنوعی هستند. یک مسئله مهم در بازوهای رباتیک سیار، مسئله‌ی متحرک بودن ربات است که در مقایسه با ثابت بودن بازوهای رباتیک یک عرصه جدید تحقیقاتی محسوب می‌شود. زمانی که یک فرد بر روی یک تخته می‌نویسد، با حرکت دادن بدن خود، بازویش را در مکان مناسب جای‌گزاری می‌کند. همچنین، زمانی که افرادی بر جابجایی یک شیء بزرگ و سنگین سعی می‌کنند، نحوه‌ی قرارگیری آن‌ها تابع عوامل زیادی است؛ مانند اندازه و وزن شیء، سرعت جابجایی، تعداد افراد و ... . بنابراین زمانی که یک بازوی ماهر سیار می‌خواهد کاری خاص با بازو انجام دهد، با طراحی مسیر مناسب برای بدنه‌ی سیار، می‌توان بازوی ماهر را به وضعیت مناسبی رساند[۹]. بنابراین طراحی مسیر و ردگیری مسیر بدنه‌ی سیار و بازوی ماهر مسائلی جداناپذیر در بازوهای رباتیک سیار هستند.

شکل ۱-۵: بازوی رباتیک سیار[۱۰]

در بین ربات‌های سیار، پر کاربردترین مکانیزم حرکت، استفاده از چرخ است. چرخ‌ها علاوه بر طراحی، روابط و ساخت ساده، دارای بازدهی بسیار بالایی می‌باشند. علاوه بر این، تعادل چرخ‌ها معمولاً به مشکل اساسی در طراحی به حساب نمی‌آید. برای تعادل باید تمامی چرخ‌ها با زمین تماس داشته باشند. در ربات‌های سه چرخ این تضمین همواره وجود دارد که ربات در حال تعادل است. اثبات این قضیه بر این اساس است که از هر صفحه همواره سه نقطه می‌گذرد و در این موارد این سه نقطه محل تماس چرخ‌ها با زمین است. ربات‌های دو چرخ نیز ممکن است تحت شرایطی به تعادل برسد. اما وقتی تعداد چرخ‌ها از سه فراتر می‌رود ربات نیاز به یک سیستم تعلیق دارد که تضمین دهد چرخ‌های ربات همواره با زمین تماس داشته باشند. نحوه و قرارگیری چرخ‌ها در ربات با توجه به شرایط استفاده از ربات تعیین می‌شوند. برای اختصار، چرخ‌هایی که دارای موتور می‌باشند، چرخ فعال و به چرخ‌هایی که فرمان را در دست دارد، چرخ فرمان و به چرخ‌هایی که فقط نقش هرزگرد را دارند چرخ غیرفعال گفته می‌شود. ترکیب دو چرخ فعال و یک چرخ غیرفعال، یکی از پیکربندی‌های مورد توجه در بدنه‌های سیار چرخ‌دار است که به آن بدنه‌ی سیار دو چرخ دیفرانسیلی نیز گفته می‌شود. ربات‌های سیار دو چرخ دیفرانسیلی زیرمجموعه‌ای از شاخه سیستم‌های مکانیکی غیرهولونومیک هستند به همین دلیل به این دسته از ربات‌ها، ربات‌های سیار چرخ دار غیرهولونومیک نیز گفته می‌شود. سیستم‌های غیرهولونومیک در بسیاری از سیستم‌های کاربردی از صندلی چرخ‌دار گرفته تا ربات ماری و خودرو به چشم می‌خورند. رفتار ربات سیار چرخ‌دار غیرهولونومیک به دلیل فراهم کردن امکان کنترل کامل حالت سیستم با تعداد محرکه‌ی کمتر، در علم رباتیک مورد توجه قرار می‌گیرد[۱۱]. اگرچه سیستم‌های غیرهولونومیک دارای قیود حرکتی هستند، کنترل حرکت و ردگیری مسیر در این سیستم‌ها روش‌های خاصی را می‌طلبد.

با توجه به ساختار ساده و کنترل‌پذیری آسان بدنه‌های سیار چرخ‌دار، بازوهای ماهر سیار چرخ‌دار بیشتر توجه شده است. طراحی مسیر، ردگیری مسیر، حمل‌ونقل، کنترل همکاری و نیرو بعضی از موضوعاتی است که درباره‌ی سیستم‌های بازوی ماهر سیار چرخ‌دار انجام می‌گیرد. سیستم بازوی رباتیک سیار چرخ‌دار معمول از یک بدنه‌ی سیار با m چرخ و یک بازوی رباتیک ماهر با n رابط تشکیل شده است[۱۲] جزئیات این پیکربندی با توجه به پارامترهای مختلفی از جمله محیط کاری ربات و کاربرد آن تعیین می‌شود. بیشتر تحقیقات قبلی بر اساس بازوهای سیار چرخ-داری صورت گرفته که حداقل ۳ چرخ بوده‌اند.

اثر متقابل بین بازوی ماهر و بدنه‌ی سیار، قیدهای هولونومیک و غیرهولونومیک، عملکرد غیرخطی، دینامیک مدل‌نشده‌ی سیستم، اغتشاش خارجی و عدم قطعیت‌های پارامتری از جمله مسائلی هستند که در کنترل بازوی رباتیک سیار چرخ‌دار با آن‌ها روبرو هستیم[۱۳]. در نتیجه کنترل بازوی رباتیک سیار چرخ‌دار جهت ردگیری مسیر مطلوب دچار پیچیدگی‌هایی می‌شود. اگر عدم قطعیت‌ها توسط قانون کنترل جبران نشود کنترل‌کننده عملکرد خوبی را نشان نمی‌دهد. عملکرد کنترلی سیستم با روش‌هایی مثل کنترل مقاوم و کنترل تطبیقی و همچنین ابزارهایی چون منطق فازی و شبکه عصبی به دلیل غلبه بر عدم قطعیت‌ها به طور موثری استفاده می‌شوند. این حوزه توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است. تاکنون دانشمندان علم کنترل ربات، روش‌های کنترلی و کارهای تحقیقاتی بسیاری را در کتاب‌ها، مقالات، مجلات علمی و کنفرانس‌ها در این زمینه ارائه نموده‌اند. نتایج بسیاری از این کارهای تحقیقاتی و روش‌های کنترلی در پروژه‌های عملی مورد استفاده قرار گرفته است. اغلب روش‌های کنترل ربات سیار بر مبنای راهبرد کنترل گشتاور می‌باشد که معمولاً پیچیده و پرمحاسبه هستند. راهبرد کنترل ولتاژ این مسئله را در بازوهای رباتیک پایه ثابت حل کرده است[۱۴-۱۶]. این روش به نقش محرکه‌ها توجه می‌کند. روش‌های کنترل قبلی دارای معایب و مزایایی است که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت. در این پایان‌نامه طرح نوینی برای کنترل فازی تطبیقی ردگیری بازوی رباتیک متحرک چرخ‌دار غیرهولونومیک با راهبرد کنترل ولتاژ ارائه می-گردد.

۱-۲ مروری بر تحقیقات پیشین

بدنه‌ی چرخ‌دار غیرهولونومیک یک ساختار معلوم و مورد توجه برای بدنه‌ی سیار است. کنترل حرکت سیستم غیرهولونومیک در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است. با بررسی سیستم بدنه‌ی سیار چرخ‌دار غیرهولونومیک توسط نظریه‌ی براکت لی، نشان داده می‌شود که خطی‌سازی پس‌خورد با ساختار ثابت برای پایدارسازی مجانبی متغیرهای حالت امکان‌پذیر نمی‌باشد[۱۷, ۱۸]. تعداد تحقیقات انجام شده در زمینه طراحی و به‌کارگیری قوانین کنترل حرکت ربات‌های سیار در این سال‌ها نشان‌دهنده‌ی جذابیت این موضوع می‌باشد. مقالات را می‌توان بر اساس