بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده برق و رباتیک
گروه کنترل

کنترل مقاوم ربات سیار با استراتژی کنترل ولتاژ

علی اصغر عرب

استاد راهنما :
پروفسور محمد مهدی فاتح

شهریور ۱۳۹۲

شماره : ۱۰۸۶/آ.ت.ب
تاریخ : ۹۲/۰۶/۲۵
ویرایش : ------

بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود
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 :

علی اصغر عرب رشته : **بـــرق** گرایش : **کنتـــرل**

تحت عنوان : **کنترل مقاوم ربات سیار با استراتژی کنترل ولتاژ**

که در تاریخ **۹۲/۰۶/۲۵** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : عالی امتیاز ۲۰) ☑ 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 استاد راهنما	محمدی فاتح	استاد	
۲ـ استاد مشاور	—	—	—
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	حسین خسروی	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	حسین تقی زاده	استادیار	
۵ ـ استاد ممتحن	حبیب احمدی	استادیار	

رئیس دانشکده :

قدردانی

قبل از هر چیز لازم است که از زحمات فراوان استاد مهربان و گرامی جناب آقای پروفسور فاتح قدر دانی نمایم که در طی دوران تحصیل همواره بهترین راهنما و مشوق بنده بوده اند. ایشان خیلی بیشتر از یک استاد بر گردن ما حق داشته و خواهند داشت.

همچنین از همکاری همسر و خانواده عزیزم که در به سرانجام رساندن این امر مرا یاری نمود کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب علی اصغر عرب دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق/ کنترل دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **کنترل مقاوم ربات سیار با استراتژی 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

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 روش های نوین کنترل مقاوم جهت کنترل ربات متحرک چرخ‌دار غیر هولونومیک ارائه شده است. این روش ها مبتنی بر راهبرد کنترل ولتاژ است درحالی‌که روش‌های قبلی مبتنی بر راهبرد کنترل گشتاور است. روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های قبلی، ساده‌تر، کم محاسبه‌تر و کارآمدتر است، ضمن آنکه پایداری را تضمین می‌نماید. در تبیین طرح کنترلی، تاریخچه‌ای از ربات‌های متحرک بیان می‌شود و سپس مدل‌سازی سیتماتیک و دینامیک ربات متحرک چرخدار غیر هولونومیک مطرح می‌شود. در ادامه، روش کنترل مود لغزشی تطبیقی با استفاده از راهبرد کنترل گشتاور طراحی می‌شود. سپس روش‌های کنترل مقاوم با استفاده از راهبرد کنترل ولتاژ ارائه، بررسی و مقایسه می گردند. در این خصوص، روش مقاوم ساده، روش بهینه در حضور عدم قطعیت با بکارگیری تخمین گر عدم قطعیت تطبیقی فازی مبتنی بر لیاپانوف و روش مقاوم با استفاده از تخمین گر عدم قطعیت تطبیقی فازی بر پایه گرادیان نزولی طراحی و تحلیل می گردند. روش‌های پیشنهادی جهت ردگیری مسیر شبیه سازی می شوند. عملکرد ردگیری در رویارویی با عدم قطعیت ها بررسی می‌شود. پایداری سیستم کنترل نیز تحلیل می گردد و ساختار کنترل کننده ها و عملکرد آنها با روش خطی سازی پسخورد تطبیقی مقایسه می‌شود. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که روش‌های مبتنی بر راهبرد کنترل ولتاژ نسبت به راهبرد کنترل گشتاور دارای محاسبه کم تر، طراحی ساده‌تر و تحلیل راحت تر می‌باشند. همچنین کنترل مقاوم با استفاده از تخمین گر تطبیقی فازی بر پایه گرادیان نزولی کاملاً مستقل از مدل بوده و قانون کنترل فقط با خطای ردگیری و مشتق آن قابل‌اجرا می‌باشد.

کلمات کلیدی: ربات متحرک چرخ‌دار غیر هولونومیک، کنترل مقاوم، کنترل بهینه، کنترل ولتاژ، سیستم تطبیقی فازی، تخمین عدم قطعیت،

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

1- M. M. Fateh, A. Arab and S. Rohani, **"**Modeling and Hierarchical fuzzy controlling of mobile robot using camera for environment Identification" first international conference of mobile robots and Assistive Tech. Iran-Tehran, CLAWAR, 2011.
2- A. Arab, S. Rouhani, M. M. FAteh, (2011), "Global Camera based Mobile Robot Localization using Min Box method", first international conference of mobile robots and Assistive Technology-Iran-Tehran, CLAWAR 2011
3- M. M. Fateh, A. Arab, "Adaptive Sliding Mode Control for a Mobile Robot" Journal of Solid and Fluid Mechanics, V. 3, N. 2, Sum. 2013, P. 11-21.
4- M. M. Fateh, **A. Arab**, "Robust Control of Electrically Driven Nonholonomic Mobile Robot", Nonlinear Dynamics (Under review).
5- M. M. Fateh, A. Arab, "Optimal Path Tracking for Uncertain Wheeled Mobile Robots" Robotics and Autonomous System, (Under review).
6- M. M. Fateh, **A. Arab**, "Robust Control of Uncertain Mobile Robots Using a Gradient-Based Adaptive Fuzzy Estimator" Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, (Under review).
7- M. M. Fateh, M. Souzanchi-K, A. Arab, "Improvement of Sliding Mode Controller for a Flexible Joint Robot With Adaptive Fuzzy Estimator" Journal of Solid and Fluid Mechanics, Accepted July 2013, (In Persian).

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۷

۱-۱ مروری بر تحقیقات پیشین ۹

۱-۲ اهداف تحقیق ۱۴

۱-۳ مروری بر ساختار پایاننامه ۱۵

فصل دوم: آشنایی با ربات‌های سیار ۱۷

۲-۱ تعریف ربات ۱۸

۲-۱-۱ ربات‌های متحرک ۱۸

۲-۲ تاریخچه ربات‌های متحرک ۲۰

فصل سوم: مدل‌سازی سینماتیکی و دینامیکی ربات ۲۸

۳-۱ مقدمه ۲۹

۳-۲ سینماتیک و محدودیت های ربات متحرک ۳۰

۳-۳ معادلات دینامیکی ربات ۳۵

۳-۴ دینامیک محرکه‌ها ۳۷

۳-۵ مدل ربات متحرک تفاضلی با استفاده از معکوس مجازی ۳۹

۳-۶ مدل ربات متحرک تفاضلی با استفاده از تبدیل مدل دینامیکی ۴۰

فصل چهارم: طراحی کنترل‌کننده مود-لغزشی تطبیقی ۴۳

۴-۱ مقدمه ۴۴

۴-۲ کنترل سینماتیکی ربات ۴۵

۴-۳ طراحی کنترل‌کننده مود-لغزشی تطبیقی ۴۷

۴-۴ کنترل بهینه ۵۲

۴-۵ شبیه‌سازی ۵۴

۶-۴ نتیجه‌گیری ۶۰

فصل پنجم: طراحی کنترل‌کننده ولتاژ مقاوم ۶۱

۵-۱ مقدمه ۶۲

۵-۲ طراحی کنترل‌کننده مقاوم ولتاژ ۶۲

۵-۳ بررسی پایداری ۶۶

۵-۴ شبیه‌سازی ۶۸

۵-۵ نتیجه‌گیری ۷۴

فصل ششم: کنترل بهینه ربات متحرک نامعین ۷۵

۶-۱ مقدمه ۷۶

۶-۲ طراحی کنترل‌کننده بهینه در حضور عدم قطعیت ۷۷

۶-۳ تخمینگر تطبیقی فازی ۸۱

۶-۳-۱ تخمین عدم قطعیت‌ها در کرانداره $|u| \le u_{\max}$ ۸۱

۶-۳-۱ تخمین عدم قطعیت‌ها خارج از کرانداره $|u_i| \le u_{\max}$ ۸۶

۶-۴ کنترل بهینه بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی گروهی ذرات ۸۶

۶-۵ بررسی پایداری ۸۷

۶-۶ شبیه‌سازی ۸۸

۶-۷ نتیجه‌گیری ۹۲

فصل هفتم: کنترل مقاوم ربات متحرک با استفاده از تخمینگر تطبیقی فازی بر پایه گرادیان نزولی ۹۳

۷-۱ مقدمه ۹۴

۷-۲ طراحی کنترل‌کننده مقاوم ۹۴

۷-۳ تخمینگر تطبیقی فازی بر پایه گرادیان نزولی ۹۷

۷-۳-۱ تخمین عدم قطعیت‌ها خارج از کرانداره $|u_i| \le u_{\max}$ ۹۷

۷-۳ -۲ تخمین عدم قطعیت‌ها در کرانداره $|u_i| \le u_{\max}$ ۹۷

۷-۴ بررسی پایداری ۱۰۱
۷-۵ شبیه‌سازی ۱۰۲
۷-۶ نتیجه‌گیری ۱۰۵
فصل هشتم: نتایج عملی ۱۰۷
۸-۱ مقدمه ۱۰۸
۸-۲ نرم‌افزار کنترل ربات و پردازش تصویر ۱۰۹
۸-۳ نتایج عملی ۱۱۰
فصل نهم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۱۳
۹-۱ نتیجه‌گیری‌ها ۱۱۴
۹-۲ پیشنهادها ۱۱۵
مراجع: ۱۱۶

فهرست تصاویر

عنوان صفحه

شکل ۲-۱: عکسی از اولین ربات‌های متحرک ۲۰

شکل ۲- ۱: انواع چرخ‌ها ۲۴

شکل ۲-۳: مکانیزم تسمه و پولی ۲۷

شکل ۲-۴: مکانیزم حرکتی با سه چرخ دوار ۲۷

شکل ۳-۱: شماتیکی از قرارگیری ربات در دستگاه مختصات مبنا ۳۱

شکل ۳-۲: چرخ استاندارد ۳۴

شکل ۳-۳: مدار معادل موتور جریان مستقیم مغناطیس دائم ۳۸

شکل ۴- ۱: تعریف بردار خطا و تبدیل بردار خطا در ردگیری ۴۷

شکل ۴-۲: ردگیری مسیر دایره‌ای ۵۷

شکل ۴-۳: خطای رد گیری ۵۷

شکل ۴- ۴: تلاش کنترلی کنترل تطبیقی مود-لغزشی بهینه ۵۸

شکل ۴- ۵: تلاش کنترلی کنترل مود-لغزشی ۵۸

شکل ۴- ۶: پارامترها تطبیق فرمول ۵۹

شکل ۴-۷: مقادیر بهینه پارامترهای طراحی ۵۹

شکل ۴-۸: مقدار تابع هدف ۶۰

شکل ۵-۱: بلوک دیاگرام کنترل‌کننده ۶۶

شکل ۵-۲: ردگیری مسیر دایره‌ای ۶۹
شکل ۵-۳: خطای رد گیری ۷۰
شکل ۵-۴: تلاش کنترلی کنترل مقاوم ولتاژ ۷۰
شکل ۵-۵:۱ ردگیری مسیر دایره‌ای ۷۲
شکل ۵-۲۶: خطای رد گیری ۷۲
شکل ۵- ۷: تلاش کنترلی کنترل ولتاژ مقاوم ۷۳
شکل ۵-۸: تلاش کنترلی کنترل مود-لغزشی ۷۳
شکل ۶-۱: الگوریتم طراحی کنترل‌کننده بهینه ۸۰
شکل ۶-۲: بلوک دیاگرام کنترل‌کننده ۸۱
شکل ۶-۳۳: توابع عضویت ورودی ۸۳
شکل ۶-۴:۴ ردگیری مسیر دایره‌ای ۹۰
شکل ۶-۵:۵ ردگیری مسیر دایره‌ای ۹۰
شکل ۶-۶۶: خطای رد گیری ۹۱
شکل ۶- ۷۷: تلاش کنترلی ۹۱
شکل ۷-۱ : بلوک دیاگرام کنترل‌کننده ۹۷
شکل ۷-۲: ردگیری مسیر دایره‌ای ۱۰۴
شکل ۷-۳: خطای رد گیری ۱۰۴
شکل ۷- ۴: تلاش کنترلی ۱۰۵

شکل ۷- ۴: مقدار مجموع عدم قطعیت‌های تخمین زده‌شده $\hat{\mu}$ ۱۰۵

شکل ۸-۱: ربات متحرک چرخ دار تفاضلی ۱۰۸

شکل ۸-۲: شکل کنترل‌کننده ربات متحرک در عمل با دوبین متصل در بالای محیط کار..۱۰۹

شکل ۸-۳: نرم‌افزار کنترل ربات در C# ۱۱۰

شکل ۸-۴: ردگیری عملی ربات با کنترل‌کننده غیر مقاوم ۱۱۱

شکل ۸-۵: ردگیری عملی ربات با کنترل‌کننده مقاوم فصل ۵ ..... ۱۱۱

شکل ۸-۵: تلاش کنترلی و خطا ردگیری کنترل‌کننده فصل ۵ ..... ۱۱۲

فصل اول

مقدمه

بازوهای رباتیک، شامل یک صنعت دو میلیارد دلاری می‌باشد. بازوهای رباتیک می‌توانند با سرعت و دقت بالایی، اعمالی همچون جوشکاری، رنگ‌کاری و مونتاژ را تکرار کنند. با وجود این موفقیت‌ها از یک ضعف بنیادی به نام ساکن بودن رنج می‌برند. در واقع، یک بازوی رباتیک ثابت، دامنه حرکت کرانداری دارد که وابسته به محل کار آن است. ربات‌های صنعتی موجود از انعطاف‌پذیری و درجه اتوماسیون کرانداری برخوردارند و غالباً، مجموعه‌ای از وظایف از پیش برنامه‌ریزی‌شده را در محیط‌های کنترل شده انجام می‌دهند و معمولاً قادر به کار در محیط‌های جدید و مواجهه با شرایط غیرمنتظره نیستند. در مقابل یک ربات متحرک این توانایی را دارد تا خارج از محیط تولیدی نیز حرکت کند و به آسودگی مهارت‌های خودش را در جایی که موثر تر است نشان دهد. از سوی دیگر تقاضا برای ربات‌هایی که قادر به انجام وظیفه در محیط‌های خطرناک (مانند محیط‌های آلوده یا رادیو اکتیو و یا محیط‌های جنگی)، محیط‌های دور از دسترس (مانند سطح سیارات دوردست و یا محیط خارج از سفینه‌های فضایی) باشند. برای اهداف خاص (مانند ربات‌های تعمیرکار، ربات‌های خدمتکار و ربات‌های ویژه کمک به معلولان) استفاده از این نوع ربات‌ها به سرعت در حال افزایش است.

ربات‌های متحرک خودکار سیستم‌هایی فیزیکی هستند که می‌توانند با اهدافی مشخص و بدون دخالت انسان در محیط‌های واقعی که به طور خاص برای ربات‌ها طراحی و آماده سازی نشده‌اند حرکت کنند. جهت استفاده از این ربات‌ها باید بتوان آن‌ها را به خوبی کنترل کرد. با وجود پیشرفت‌هایی که سال‌های اخیر در زمینه رباتیک و کنترل صورت گرفته است، هنوز مسائل زیادی حل نشده است. این مسائل عمدتاً ناشی از ماهیت سیستم‌های واقعی و عوامل ناشناخته‌ای است که در مورد ربات‌های متحرک وجود دارد. دینامیک ربات متحرک؛ غیرخطی، دارای تزویج و قیدهای حرکتی می‌باشد. نامعینی‌های زیادی در مورد ربات‌های سیار وجود دارد. مسائلی که در کنترل ربات‌های متحرک با آن‌ها روبرو هستیم عبارت است از: دینامیک‌های مدل نشده سیستم، اغتشاش‌های خارجی و عدم قطعیت‌های پارامتری. در نتیجه کنترل یک ربات متحرک جهت ردگیری یک مسیر مطلوب دچار پیچیدگی‌های می‌شود. اگر عدم قطعیت‌ها توسط قانون کنترل جبران نشود کنترل‌کننده عملکرد خوبی را از خود 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 مورد استفاده قرار می‌گیرند. ربات‌های متحرک چرخ دار غیرهولونومیک نوعی از ربات‌های متحرک می‌باشد که به دلیل نوع چرخ‌ها، حرکت آن دارای محدودیت هایی می‌باشد. منظور از قید غیرهولونومیک در ربات‌های متحرک چرخ دار آن است که ربات در جهت جانبی حرکت نمی‌کند. ربات متحرک چرخ دار با مکانیزم تفاضلی نمونه‌ای پرکاربرد از ربات‌های سیار می‌باشد که دارای قید غیرهولونومیک می‌باشند. در مکانیزم تفاضلی ربات دارای دو چرخ در دو طرف با محرکه مستقل است به گونه‌ای که امکان دور زدن و مانور برای آن فراهم می‌باشد. کنترل این نوع ربات‌ها به دلیل وجود قید غیرهولونومیک با پیچیدگی‌های خاصی روبرو می‌باشد. کنترل این نوع ربات به صورت خطی سازی پسخورد به صورت مستقیم امکان‌پذیر نیست [۱]. تا کنون دانشمندان علم کنترل ربات، روش‌های کنترلی و کارهای تحقیقاتی بسیاری را در کتاب‌ها، مجلات، مقالات و کنفرانس‌ها ارائه نموده‌اند. نتایج بسیاری از این کارهای تحقیقاتی و روش‌های کنترلی در پروژه‌های کاربردی و صنعتی به صورت عملی مورد استفاده قرار گرفته است. اغلب روش‌های کنترل ربات متحرک بر مبنا راهبرد کنترل گشتاور می‌باشد [۲-۵] که آن‌ها بسیار پیچیده و پر محاسبه هستند. راهبرد کنترل ولتاژ به خوبی این مسئله را در بازوهای رباتیک حل کرده است [۶-۸]. این روش به نقش محرکه‌ها به خوبی توجه می‌کند. هر یک از روش‌های کنترلی که تا کنون ارائه‌شده دارای معایب و مزایایی است که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت. در این پایان‌نامه روش کنترلی جدیدی مبتنی بر راهبرد کنترل ولتاژ برای ربات متحرک چرخ دار غیرهولونومیک ارائه می‌شود.

۱-۱ مروری بر تحقیقات پیشین

امروزه ربات متحرک و کاربردهای آن موضوعات تحقیقاتی جذابی در زمینه کنترل، ناوبری، بینایی ماشین و هوش مصنوعی هستند. کنترل حرکت یک سیستم غیرهولونومیک در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است. سیستم‌های غیرهولونومیک در بسیاری از سیستم‌های کاربردی از یک چرخ

گرفته و صندلی چرخ دار تا ربات ماری و خودرو به چشم می‌خورند. ربات چرخ دار تفاضلی یک سیستم شناخته‌شده با قیدهای غیرهولونومیک است. با بررسی سیستم این ربات توسط نظریه براکت لی نشان داده می‌شود که خطی سازی پسخورد با ساختار ثابت برای پایدارسازی مجانبی متغیرهای حالت امکان‌پذیر نمی‌باشد [۱]. تعداد مقالات ارائه‌شده در زمینه طراحی و به‌کارگیری قوانین کنترل حرکت ربات متحرک در این سال‌ها نشان‌دهنده جذابیت این موضوع می‌باشد. مقالات بسیاری در زمینه مدل‌سازی، پایدارسازی، مانع گریزی و ردگیری دقیق مسیر توسط ربات متحرک راهکارهای باارزشی را در دو دهه گذشته ارائه نموده‌اند. مقالات را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود بر اساس اینکه ربات متحرک با مدل سینماتیکی یا مدل دینامیکی توصیف شود. بنابراین، مسئله کنترل حرکت ربات متحرک به دو مسئله کنترل سینماتیکی و کنترل دینامیکی قابل جداسازی است. هدف کنترل‌کننده سینماتیکی آن است که سرعت خروجی را به صورتی کنترل نماید که خطای ردگیری بین مسیر طراحی و ربات به صفر میل نماید. سپس گشتاور ربات با طراحی کنترل‌کننده گشتاور کنترل می‌شود تا سرعت ربات به سرعت خروجی کنترل‌کننده سینماتیکی میل نماید.

تا کنون مقالات زیادی در رابطه با کنترل سینماتیکی ربات متحرک ارائه‌شده است [۹-۱۵]. کنترل گام به عقب یکی از روش‌های اولیه و پایدار در کنترل سینماتیکی است که در سال ۱۹۹۰ ارائه‌شده است [۹]. همچنین مقالاتی نیز به چشم می‌خورد که به بهبود عملکرد روش گام به عقب پرداخته‌اند [۱۰]. برای بهبود عملکرد کلی کنترل‌کننده‌های سینماتیکی و همگرایی مجانبی ربات جهت ردگیری مسیرهای طراحی‌شده متفاوت، کنترل‌کننده‌های سینماتیکی تطبیقی در چندین مقاله ارائه‌شده است [۱۱-۱۳]. برخی دیگر کنترل‌کننده‌های سینماتیکی با به‌کارگیری الگوریتم فازی جهت مقابله با نامعینی‌های پارامتری ربات را ارائه کرده‌اند [۱۴، ۱۵]. همچنین روش‌های سینماتیکی دیگری نیز به چشم می‌خورند که ردگیری را به صورت پایدار انجام می‌دهند ولی در دسته کنترل‌کننده گام به عقب قرار نمی‌گیرند [۱۶-۱۸]. با اینکه از اولین مقالات مرتبط با مسئله کنترل سینماتیکی ربات حدود بیست سال می‌گذرد ولی این موضوع هنوز مورد توجه محققین می‌باشد [۱۹].

همان طور که می‌دانیم مدل‌سازی یک سیستم دینامیکی معمولاً دقیق نیست یا در صورت دقیق بودن شدیداً پیچیده می‌شود. پس مدل‌هایی که در دست هستند جهت اعمال قانون کنترل دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند. کنترل دینامیکی ربات، به دلیل اینکه ربات متحرک یک سیستم پیچیده، چند متغیره، غیرخطی همراه با تزویج و نامعینی است، دشوار است. عدم قطعیتی که در کنترل ربات‌های متحرک با آن روبرو هستیم عبارت است از: دینامیک‌های مدل نشده سیستم، اغتشاش‌های خارجی و عدم قطعیت‌های پارامتری. اگر عدم قطعیت‌ها توسط قانون کنترل جبران نشود کنترل‌کننده عملکرد خوبی را از خود نشان نمی‌دهد. عملکرد کنترلی سیستم با روش‌هایی مانند کنترل مقاوم، کنترل تطبیقی، کنترل فازی و کنترل عصبی بهبود می‌یابد.

در سال‌های اخیر، طراحی و به‌کارگیری کنترل‌کننده‌های پیشرفته برای ربات‌های سیار مورد توجه بسیاری از محققین، دانشمندان و صنعت گران قرار گرفته است. به طور کلی مقالات مرتبط با کنترل دینامیکی ربات متحرک غیرهولونومیک را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. دسته اول، مقالاتی که با در نظر گرفتن کنترل‌کننده سینماتیکی و کنترل‌کننده دینامیکی به صورت دو حلقه کنترلی جداگانه، این مسئله را مورد بررسی قرار داده‌اند. دسته دوم، مقالاتی که به طراحی کنترل‌کننده‌هایی بدون وجود حلقه کنترل سینماتیکی پرداخته‌اند و به شکلی کنترل سینماتیکی و دینامیکی را با یکدیگر در آمیخته‌اند. کنترل تطبیقی از ابزار قدرتمند کنترلی است که قادر به مقابله با عدم قطعیت‌های پارامتری می‌باشد. کنترل تطبیقی نیز در کنترل ربات کارایی بسیار زیادی دارد. بسیاری از ربات‌ها دارای عدم قطعیت پارامتری هستند. اگر این پارامترها بر اساس یک مکانیزم تطبیق تنظیم نشوند، ممکن است باعث کاهش دقت و تنزل عملکرد و یا حتی در بعضی موارد موجب ناپایداری سیستم نیز بشود. کنترل تطبیقی با استفاده از حلقه کنترل سینماتیکی گام به عقب ارائه‌شده است که قانون تطبیق جهت مقابله با عدم قطعیت‌های سینماتیکی ربات به کار گرفته شده است [۲۰-۲۳]. کنترل‌کننده‌های مقاوم یکی دیگر از ابزارهای باارزش کنترلی می‌باشند که قادر به مقابله با عدم قطعیت‌هایی با اندازه کراندار چون اغتشاش خارجی و دینامیک‌های مدل نشده می‌باشد [۲۴، ۲۵]. طراحی کنترل‌کننده‌های مقاوم با

استفاده از روش مود-لغزشی [۲۶-۲۸] و کنترل H_∞ در حضور اشباع محرکه و اغتشاش خارجی [۲۹] نیز ارائه‌شده است. همچنین برخی از مقالات با به‌کارگیری هر دو ابزار کنترل تطبیقی و کنترل مقاوم به طراحی کنترل‌کننده برای کنترل بهتر ربات متحرک پرداخته‌اند [۳۰]. پیاده‌سازی عملی کنترل‌کننده مود-لغزشی تطبیقی بر روی ربات متحرک در قسمت کنترل‌کننده دینامیکی با حضور نامعینی و اغتشاش بدون در نظر گرفتن مدل محرکه‌ها [۳۱] و کنترل تطبیقی مقاوم با حضور عدم قطعیت‌های پارامتری و غیر پارامتری [۳۲] نمونه‌ای از این مقالات می‌باشند. به‌کارگیری ابزارهای هوشمند چون شبکه عصبی به دلیل قدرت شناسایی و تخمین بالا [۳۳] و منطق فازی به دلیل سادگی در طراحی و امکان غلبه بر عدم قطعیت‌ها، توجه دانشمندان زیادی را به خود جلب کرده است. قوانین فازی، قادر به پیاده‌سازی تصمیم گیری‌های اگر آنگاه و استفاده از دانش و تجربه افراد خبره در یک سیستم می‌باشند. به همین دلیل روش فازی نسبت به روش‌های کنترل کلاسیک برتری دارد. این روش آسان با قابلیت‌های انکارناپذیر به مدل سیستم وابسته نبوده و به همین جهت در بسیاری از کارهای تحقیقاتی برای کنترل ربات مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۴]. الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند نظیر الگوریتم ژنتیک [۳۵]، الگوریتم گروهی ذرات [۳۶]، الگوریتم مورچگان [۳۷] و سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی [۳۸] به منظور طراحی کنترل‌کننده‌های بهینه و با قابلیت‌های خاص نیز در کنترل ربات‌های سیار دیده می‌شود. به‌کارگیری کنترل‌کننده‌های هوشمند بر روی کنترل سینماتیکی و کنترل دینامیکی ربات دیده می‌شود. کنترل هوشمند با به‌کارگیری طرح کنترلی گام به عقب و استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک در سطح سینماتیکی، جهت بهبود عملکرد کلی کنترل‌کننده ارائه‌شده است [۴۰، ۳۹]. کنترل‌کننده‌های تطبیقی هوشمندی که با شبکه‌های عصبی و یا سیستم‌های فازی درآمیخته شده‌اند [۴۱-۵۱] نظیر کنترل تطبیقی غیرمستقیم با استفاده از شبکه عصبی در دو سطح کنترل سینماتیکی و دینامیکی ربات [۴۳]، کنترل تطبیقی فازی با راهبرد روش گام به عقب جهت کنترل ربات متحرک با در نظر گرفتن مدل محرکه [۴۴]، کنترل‌کننده‌های مقاوم چون مود-لغزشی و به‌کارگیری شبکه عصبی [۴۶، ۴۵] و فازی [۴۷]، کنترل عصبی با استفاده از شبکه‌های موجی [۴۹، ۴۸]، کنترل‌کننده‌های عصبی فازی [۵۱،

۵۰] نیز تا کنون ارائه‌شده‌اند. در نهایت به طور کلی می‌توان گفت کنترل‌کننده‌های تطبیقی فازی و یا عصبی دارای مزایای بسیاری می‌باشند ولی در طراحی آن‌ها باید در نظر داشت که عملکرد آن‌ها به طرح کنترل‌کننده، خطای تقریب و شرایط اولیه بسیار وابسته است. همچنین اثبات پایداری و همگرایی آن‌ها به دلیل ساختار پیچیده سیستم فازی و یا شبکه عصبی با مسائل دشواری روبرو است.

محاسبه توابع تعلق و طراحی سیستم فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک [۵۲]، الگوریتم حرکت پرندگان [۵۳] و سایر روش‌های بهینه‌سازی [۵۴] در کنترل‌کننده‌های فازی نوع یک و نوع دو [۵۵] ارائه‌شده‌اند. قانون کنترل خطی سازی پسخورد می‌تواند، سیستم غیرخطی و با تزویج ربات را به سیستم خطی و بدون تزویج تبدیل کند. در سیستم به دست آمده اثری از قسمت‌های های غیرخطی وجود ندارد در نتیجه کنترل سیستم بسیار راحت تر می‌شود. در این روش نیاز به مدل دقیق سیستم داریم و در صورت نداشتن مدل دقیق باید بتوانیم بر عدم قطعیت‌ها غلبه کنیم. اگر قسمت‌های دینامیکی و عدم قطعیت‌ها توسط قانون کنترل جبران شود این روش دارای عملکرد مناسبی می‌شود. عملکرد کنترلی سیستم با روش‌هایی مثل کنترل مقاوم و کنترل تطبیقی بهبود می‌یابد.

روش خطی سازی پسخورد، یکی از روش‌های کنترل ربات بر مبنای مدل است ولی باید سیستم قابلیت خطی سازی پسخورد را داشته باشد. به طور کلی ایده اصلی خطی سازی پسخورد، عبارت است از ساختن یک قانون کنترل که بخش‌های غیرخطی را حذف می‌کند. هر سیستمی که به فرم همراه درآید قابلیت خطی سازی پسخورد را دارد. مدل ربات متحرک را نیز نمی‌توان به صورت همراه درآورد در نتیجه با خطی سازی پسخورد نمی‌توان آن را کنترل کرد. با این وجود، برخی از مقالات با تعریف بردارهای خروجی مجازی و تبدیل‌های هندسی، خطی سازی پسخورد را بر روی ربات متحرک پیاده‌سازی نموده‌اند [۵۶-۵۸]. درهم آمیختن مدل سینماتیکی و مدل دینامیکی جهت کنترل گشتاور ربات متحرک با روش خطی سازی پسخورد ارائه‌شده است. خطی سازی پسخورد تطبیقی جهت مقابله با عدم قطعیت‌های پارامتری و غیر پارامتری ربات متحرک با در نظر گرفتن مدل محرکه‌ها [۵۹]، یکی از مقالات ارزشمندی است که به صورت تک حلقه‌ای ربات متحرک را کنترل نموده است.