دانشکده برق و رباتیک

گروه کنترل

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

کنترل بهینه مود لغزشی یک ربات در حضور عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم پرندگان

سید محمد هاشم زاده

استاد راهنما:

دکتر محمد حداد ظریف

استاد مشاور:

دکتر محمد مهدی فاتح

شهریور ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده برق و رباتیک

گروه کنترل

کنترل بهینه مود لغزشی یک ربات در حضور عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم پرندگان

دانشجو :

سید محمد هاشم زاده

استاد راهنما :

دکتر محمد حداد ظریف

استاد مشاور:

دکتر محمد مهدی فاتح

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۲

دانشکده برق و رباتیک

گروه کنترل

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سید محمد هاشم زاده

تحت عنوان:

کنترل بهینه مود لغزشی یک ربات در حضور عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم پرندگان

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصص زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

تقدیم به

مادرم که مشعل امید را در تاریکستای زندگی برایم به ارمغان آورد

پدرم که نیک اندیشیدن و آزاداندیشی را به من آموخت

برادرانم که همواره پشتیبانم بوده اند

تشکر و قدردانی:

در ابتدا خداوند یکتا را شاکرم که توان اتمام این پایان‌نامه را به من داد. سپس جا دارد از پرفسور فاتح، استاد مشاور اینجانب کمال تشکر را داشته که بدون شک نه حق استادی که حق پدری را درباره اینجانب به اتمام رساندند. امید است که رهنمودهای اخلاقی ایشان همانند نکات علمی که تجربه و دانش غنی ایشان را نمودار می‌سازد، همواره سرلوحه کار نگارنده باشد. زحمات دکتر حدادظریف نیز که به عنوان استاد راهنما زحمت ویرایش این پژوهش را متحمل شدند باید ستود.

در اتمام این پایان‌نامه افراد بسیاری به نویسنده کمک کرده‌اند. در ابتدا از پدر و مادرم که همواره به من دلگرمی داده‌اند تشکر می‌کنم. از عمه‌جانم که حق بسیار بر گردن من و همه برادرانم دارد نیز بسیار سپاسگزارم. سپس برادرانم سید محسن و سید کاظم هاشم‌زاده که همواره مشوقم بوده‌اند کمال امتنان را دارم. سپس یادی از دوستانم امیر نگهداری و محمد رضا شفیع چافی باید کرد. در پایان نیز از مهندس پویان بشلی و مهندس بهنام سبزی کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **سید محمد هاشم زاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی برق-کنترل** دانشکده **برق و رباتیک**. دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **کنترل بهینه مود لغزشی یک ربات در حضور عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم پرندگان** تحت راهنمایی **دکتر محمد حداد ظریف** و **پرفسور محمد مهدی فاتح** متعهد می‌شوم .

- 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 درهیچ 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.

۱۳۹۲/۶/۱۵

سید محمد هاشم زاده

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر و محصولات آن(مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، 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 پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در این پایان‌نامه مسئله‌ی کنترل مود لغزشی بهینه‌ی بازوی رباتیک تحت عدم قطعیت بررسی شده است. حداقل کردن سیگنال کنترل و خطای ردگیری، از اهداف بسیار مهم در سیستم‌های کنترل است که باید مورد توجه قرار گیرد. نوآوری این تحقیق استفاده از الگوریتم پرندگان در حالت خارج از خط و ترکیب آن با تخمین حدود عدم قطعیت در حالت بر خط جهت بهینه کردن پارامترهای سیستم کنترل است. مزیت عمده‌ی این روش بر دیگر روش‌های معمول در بهینه‌سازی که عمدتاً در حالت خارج از خط سیستم را بهینه می‌کنند، برخط بودن آن است. در حالت برخط با استفاده از تخمین حدود عدم قطعیت می‌توان مدل نامی را به مدل واقعی نزدیک کرد. بنابراین، بهینه‌سازی الگوریتم پرندگان برای سیستمهای دینامیکی واقعی قابل اجرا خواهد بود. دیگر مزیت روش پیشنهادی، محاسبات کمتر در حالت برخط است. زیرا تمامی محاسبات زمانبر الگوریتم پرندگان در حالت خارج از خط انجام شده و نتایج به صورت جدول در دسترس کنترل‌کننده است. در این تحقیق مطالعه‌ی موردی برای ربات پیوما ۵۶۰ آورده شده است. این ربات، سیستمی چند ورودی- چند خروجی، غیرخطی دارای عدم قطعیت می‌باشد که برای کنترل تحت عدم قطعیت آن باید به روش‌های کنترل مقاوم همچون کنترل مد لغزشی رو آورد. آنچه که بهینه‌سازی را برای این ربات و بسیاری از سیستم‌ها مشکل می‌سازد، وجود عدم قطعیت است که باعث تفاوت مدل نامی با مدل واقعی می‌شود. در این پژوهش با تخمین برخط عدم‌قطعیت و استفاده از جدول بهره‌ی بهینه در حالت خارج از خط، به اهداف ردگیری و کنترل بهینه‌ی ربات پرداخته شده است. نتایج شبیه‌سازی برای ربات پیوما ۵۶۰، موثر بودن روش پیشنهادی برای کنترل بهینه را تایید می‌کند.

کلمات کلیدی: کنترل مد لغزشی، الگوریتم پرندگان، عدم قطعیت، کنترل بهینه، بازوی رباتیک

فهرست مقالات مستخرج از پایان نامه

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱ مروری بر کارهای گذشته..... ۳

۱-۲ مروری بر ساختار پایان‌نامه..... ۸

فصل دوم: الگوریتم پرندگان..... ۱۰

۲-۱ ایده های اولیه..... ۱۲

۲-۲ بیان قدم به قدم الگوریتم پرندگان..... ۱۴

۲-۲-۱ قدم اول :تعریف دستهٔ ذرات..... ۱۴

۲-۲-۲ قدم دوم :مقداردهی اولیه ذرات..... ۱۵

۲-۲-۳ قدم سوم :تعیین گراف ارتباط ذرات..... ۱۵

۲-۲-۴ قدم چهارم :مشخص کردن جا به جایی بعدی ذره..... ۱۶

۲-۳ نخستین فرمول بندی مسئله..... ۱۷

۲-۳-۱ یافتن فرمول برای نحوهٔ حرکت ذرات..... ۱۸

۲-۳-۲ دو خطای رایج در معادلهٔ حرکت..... ۲۲

۲-۴ درباره محدودیت ها؛ خروج ذرات از فضا و مقداردهی اولیه..... ۲۳

۲-۴-۱ مقداردهی اولیه..... ۲۳

۲-۴-۲ جلوگیری از خروج ذرات از فضای جستجو..... ۲۴

۲-۴-۲-۱ محدودیت شماره صفر(توقف در مرز)..... ۲۴

۲-۴-۲-۲ محدودیت شماره یک (برگشت قطعی)..... ۲۵

۲-۴-۲-۳ محدودیت شماره دو (بازگشت تصادفی)..... ۲۵

۲-۴-۲-۴ محدودیت شماره سه (هایپربولیک)..... ۲۵

فصل سوم: روش کنترل مد لغزشی ؛ پیشینه ریاضی و معرفی..... ۲۷

۳-۱ سیستم های دینامیک ناپیوسته..... ۲۹

۳-۲ مختصری درباره کنترل مد لغزشی..... ۳۳

۳-۳ کنترل مدلغزشی، روش اسلوتین..... ۳۶

۳-۳-۱ یک مثال ساده برای حالت تک ورودی تک خروجی..... ۳۶

۳-۳-۲ قانون کنترل مد لغزشی اسلوتین برای حالت چندورودی چندخروجی..... ۴۲

فصل چهارم: دینامیک و سینماتیک پیوما ۵۶۰..... ۴۹

۴-۱ بررسی سینماتیک مستقیم و وارون..... ۵۱

۴-۲ دینامیک ربات پیوما ۵۶۰..... ۵۳

۴-۳ کنترل گشتاور پیوما ۵۶۰..... ۵۵

فصل پنجم: معرفی یک روش جدید برای کنترل بهینه تحت عدم قطعیت..... ۶۳

۵-۱ درباره عدم قطعیت و الگوریتم پرندگان..... ۶۴

۵-۲ بهینه‌سازی یک سیستم ساده با الگوریتم پرندگان..... ۶۷

۵-۳ یک روش جدید برای کنترل بهینه تحت عدم قطعیت..... ۶۹

۵-۳-۱ بررسی نتایج برای سیستم ساده..... ۷۲

۵-۴ شبیه سازی و نتایج برای پیوما ۵۶۰..... ۷۶

۵-۴-۱ پیاده سازی روش جدید برای ربات..... ۷۶

۵-۴-۲ نتایج شبیه‌سازی..... ۷۷

فصل ششم: نتیجه‌گیری..... ۸۵

۶-۱ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی..... ۸۶

۶-۲ پیشنهادات..... ۸۷

منابع.....۸۸

پیوست.....۹۲

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱) مروری بر روش‌های بهینه‌سازی پویا..... ۳

شکل (۲-۱) ارتباط تعداد اطلاع دهنده‌ها با انتشار اطلاعات و گستردگی..... ۱۶

شکل (۲-۲) تعیین مکان بعدی ذره..... ۱۷

شکل (۲-۳) متوازی السطوح با حاشیهٔ ε از هر ضلع..... ۲۴

شکل (۲-۳) محدودیت شماره صفر (توقف در مرز) ۲۵

شکل (۲-۴) محدودیت شماره یک (برگشت قطعی) ۲۵

شکل (۲-۵) محدودیت شماره دو (بازگشت تصادفی) ۲۵

شکل (۲-۶) محدودیت شماره سه (هایپربولیک) ۲۶

شکل (۳-۱) جهت بردارها در اطراف سطح ناپیوستگی ۳۲

شکل (۴-۱) نمادگذاری دناویت-هارتنبرگ برای پیوما ۵۶۰..... ۵۱

شکل (۴-۲) انواع پیکربندی های پیوما ۵۶۰..... ۵۳

شکل(۴-۳) مسیر مطلوب حرکت بازوی ربات..... ۵۶

شکل (۴-۴) نتایج شبیه‌سازی پیوما ۵۶۰ با روش اسلوتین (الف) خطای $\ddot{q}$..... ۵۷

شکل (۴-۴) نتایج شبیه‌سازی پیوما ۵۶۰ با روش اسلوتین (ب) خطای $\dot{q}$..... ۵۸

شکل (۴-۴) نتایج شبیه‌سازی پیوما ۵۶۰ با روش اسلوتین (ج) خطای q..... ۵۹

شکل (۴-۴) نتایج شبیه‌سازی پیوما ۵۶۰ با روش اسلوتین (د) سیگنال کنترل..... ۶۰

شکل (۴-۴) نتایج شبیه‌سازی پیوما ۵۶۰ با روش اسلوتین (ه) خطای کنترل موقعیت..... ۶۱

شکل(۵-۱) نمودار های سیستم ساده غیر بهینه..... ۶۹

شکل(۵-۲) نمودار های سیستم ساده بهینه شده باالگوریتم پرندگان در حالت خارج از خط..... ۷۳

شکل(۵-۳) نمودار های سیستم ساده بهینه شده با روش جدید..... ۷۳

شکل(۵-۳) نمودار های سیستم ساده بهینه شده با روش جدید(ادامه)..... ۷۴

شکل (۵-۴) مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم پرندگان در حالت خارج از خط (الف) سیگنال کنترل..... ۷۸

شکل (۵-۴) مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم پرندگان در حالت خارج از خط (ب) خطای $\ddot{q}$..... ۷۹

شکل (۵-۴) مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم پرندگان در حالت خارج از خط (ج) خطای $\dot{q}$..... ۸۰

شکل (۵-۴) مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم پرندگان در حالت خارج از خط (د) خطای q..... ۸۱

شکل(۵-۴) مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم پرندگان در حالت خارج از خط(ه)خطای کنترل موقعیت.... ۸۲

فهرست جداول

جدول (۲-۱) خلاصهٔ پارامترهای استفاده شده در الگوریتم پرندگان استاندارد..... ۲۳

جدول (۳-۱) خلاصهٔ روش‌های حل معادلات دیفرانسیل ناپیوسته..... ۳۰

جدول (۴-۱) پارامترهای دناویت-هارتنبرگ برای پیوما ۵۶۰..... ۵۲

جدول (۴-۲) ثابت‌های جاذبه ($N.m$) ۵۴

جدول (۴-۳) ثابت‌های اینرسی($kg.m^2$) ربات پیوما ۵۶۰..... ۵۵

جدول (۴-۴) پارامترهای روش اسلوتین..... ۵۶

جدول (۴-۵) مقایسه شاخص‌های کارایی برای ربات پیوما ۵۶۰ برای مدل نامی..... ۶۲

جدول (۵-۱) جدول بهره بهینه شده با الگوریتم پرندگان برای سیستم ساده..... ۷۱

جدول (۵-۲) شاخص کارایی برای سیستم ساده..... ۷۵

جدول (۵-۳) مقایسه زمان نشست و مجموع خطای ردگیری برای ربات پیوما ۵۶۰..... ۸۲

جدول (۵-۴) مقایسه شاخص‌های کارایی برای ربات پیوما ۵۶۰..... ۸۳

فصل اول

مقدمه

رباتیک یکی از میدان های فناوری جدید است که از مرزهای مهندسی سنّتی عبور کرده است. این میدان که اکنون به رشتهٔ مستقلی تبدیل شده است، نیاز به دانش مهندسی برق، مکانیک، صنایع، علوم کامپیوتر، اقتصاد و ریاضیات دارد. همچنین رشته های جدیدی چون مهندسی ساخت و تولید و مفاهیمی نظیر بینایی ماشین و هوش مصنوعی نیز در آن وارد شده است.

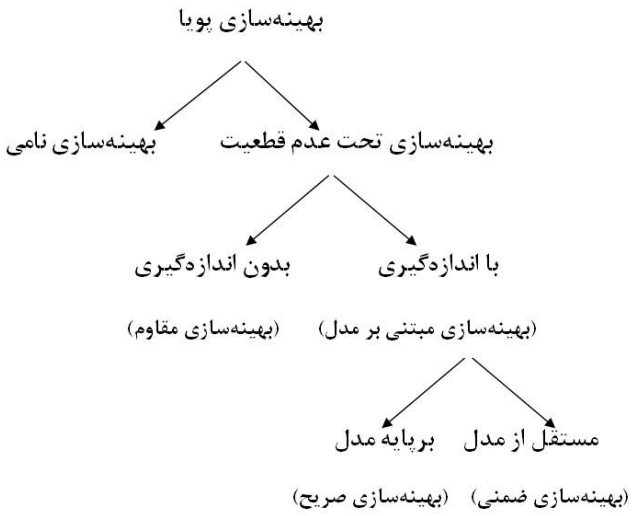
ربات، سیستمی غیرخطی، چند ورودی- چند خروجی با دامنه‌ی کاری وسیع و دارای عدم قطعیت است. ربات‌ها امروزه رفته رفته در همه‌ی بخش‌های خط تولید جایگزین کارگران شده‌اند تا کارهای تکراری و مشخص را با دقت بالاتر، هزینه‌ی کمتر و سرعت بیشتر انجام دهند. پیشرفت چشمگیر برخی صنایع بزرگ در کشورهای پیشرفته‌ای چون ژاپن و آلمان، بدون شک مرهون وجود ربات‌ها بوده است. کنترل و نیز کنترل بهینه‌ی چنین سیستمی در چند دهه‌ی اخیر یکی از زمینه‌های فعال تحقیقاتی برای محققین بوده است. از روش‌های بسیار محبوب کنترل مقاوم می‌توان به کنترل مد لغزشی اشاره کرد. به کمک این روش که یک روش کنترل ساختار متغیر است با مقادیری ناپیوسته برای سیگنال کنترل، یک سیستم دلخواه که دارای عدم قطعیت ساختاری و پارامتری است، کنترل می‌شود.

در ربات‌ها و نیز بسیاری از سیستم‌های غیرخطی، نمی‌توان از روش‌های سنتی بهینه‌سازی بهره جست. در این سیستم‌ها معمولاً تعداد متغیرها بسیار زیاد و تاثیرات آن‌ها روی هم در کل نامشخص است. به این موارد، بازه‌های مجاز، توابع بدتعریف، شاخص‌های مختلف کارایی و نیز بحث مقاوم بودن (که تا حدی با بهینگی در تعارض است) نیز اضافه می‌شود. برای بهینه‌سازی در چنین شرایطی دیگر نمی‌توان از روش-های سنتی مثل روش نیوتن یا روش گرادیان استفاده کرد. یک دسته از الگوریتم‌ها که به کار می‌آیند، روش‌های تکاملی یا هوشمند هستند. الگوریتم پرندگان از جمله‌ی این الگوریتم‌هاست که می‌تواند در شرایطی که روش‌های سنتی از حل مسئله عاجزند، بهینه‌سازی را انجام دهد.

پارامترهای ربات دارای عدم قطعیت هستند و اختلال خارجی نیز مانند دیگر سیستم‌های فیزیکی، در اینجا به طور نامشخصی اضافه خواهد شد. در چنین شرایطی، برای بهینه‌سازی، با مسئله‌ی بهینه‌سازی تحت عدم قطعیت روبه‌رو می‌شویم. این مسئله به صورت بهینه‌سازی در شرایطی که همه‌ی تاثیرات را نمی‌دانیم بیان می‌شود. در ادامه‌ی این فصل ابتدا مروری بر کارهای گذشته خواهد شد و سپس ساختار کلی پایان‌نامه ارائه خواهد شد.

۱-۱ مروری بر کارهای گذشته

در [۱] به بهینه‌سازی پویا[۱] برای فرایندهای دسته‌ای[۲] پرداخته شده است. در ابتدا مروری بر روش‌های بهینه‌سازی شده است که در شکل (۱-۱) آمده است.



شکل (۱-۱) مروری بر روش‌های بهینه‌سازی پویا [۱]

[۱] Dynamic Optimization

[۲] Batch Processes

همانطور که در شکل (۱-۱) آمده است، اگر عدم قطعیت در نظر گرفته نشود، روش‌های معمول، چه روش‌های سنتی چه تکاملی، بهینه‌سازی را انجام می‌دهند. در حالت دارای عدم قطعیت، نیاز یا عدم نیاز به اندازه‌های بدست آمده از سنسورها، دو دسته بهینه‌سازی را تعریف می‌کند.

در صورت عدم نیاز به اندازه‌های بدست آمده از سنسورها، بهینه‌سازی را مقاوم می‌نامند. در این روش، عدم قطعیت پارامتری را می‌توان با روش‌های شناسایی پارامتر بدست آورد. برای اختلال نیز به صورت تابع توزیع احتمالی در نظر گرفته می‌شود و بر آن اساس به بهینه‌سازی پرداخته می‌شود.

دسته‌ی دیگر از روش‌های بهینه‌سازی تحت عدم قطعیت، بهینه سازی بر اساس اندازه‌های بدست آمده از سنسورهاست. همانطور که در شکل (۱-۱) دیده می‌شود، با توجه به اینکه وابسته به مدل هستیم یا خیر، دو نوع بهینه‌سازی خواهیم داشت: روش‌های بر پایه مدل[۱] و روش‌های مستقل از مدل[۲]. اگر بهینه‌سازی بر پایه مدل باشد آن را بهینه‌سازی صریح[۳] و اگر مستقل از مدل باشد آن را بهینه‌سازی ضمنی[۴] گویند.

در روش بهینه‌سازی بر پایه مدل (صریح)، بر اساس داده‌هایی که در حالت برخط وارد سیستم می‌شود، بار دیگر بهینه‌سازی انجام می‌شود. از این رو این روش را بهینه‌سازی مکرر[۵] نیز می‌نامند، زیرا هر بار با توجه به داده‌های بدست آمده، عمل بهینه‌سازی مرتباً تکرار می‌شود. در یکی از این روش‌ها، که بهینه سازی اجرا تا اجرا[۶] نامیده می‌شود، فقط داده‌ها برای حالت خارج از خط موجود است. نکته‌ای که به کمک طراح در این روش می‌آید این است که در بسیاری از فرایندهای صنعتی، فرایند تکراری است و به

[۱] Model-based Methods
[۲] Model-free Methods
[۳] Explicit Optimization
[۴] Implicit Optimization
[۵] Repeated Optimization
[۶] Run-to-run Optimization

این روش می‌توان تا حدی، برخی فرایندهای تکراری را بهینه‌سازی کرد. عیب این روش، در نظر نگرفتن اختلالاتی است که در حالت برخط وارد سیستم می‌شود.

در روش مستقل از مدل (ضمنی)، بر اساس گسسته‌سازی فضای پارامترها [۱]، جواب‌های حالت بهینه بدست آمده و ذخیره می‌شوند. این ذخیره‌سازی می‌تواند به صورت تعلیم یک شبکه عصبی باشد. آنگاه سیستمی که بهترین انطباق را دارد برگزیده شده و بر آن اساس، بهینه‌سازی انجام می‌شود. روشی که در پیشنهاد شده است، در دسته‌ی بهینه‌سازی مستقل از مدل(ضمنی) جای می‌گیرد که ردگیری مرجع[۱] نام دارد. در این روش البته مدل نامی باید در دسترس باشد و سپس به کمک روش‌های عددی می‌توان مقدار متغیرهای حالت و سیگنال کنترل بهینه را یافت. در این روش با توجه به اینکه محدودیت‌ها و حساسیت، چه در حضور و چه در نبود عدم قطعیت یکسان است، شرایطی پیشنهاد شده که چگونه مسیر مرجع سیگنال انتخاب شود. قانون کنترلی که بتواند حساسیت نسبت به مسیر و حالت نهایی را صفر نگه دارد، می‌تواند بهینگی تحت عدم قطعیت را تضمین کند. حسن این روش محاسبات کم و تنظیم پارامتر آسان است. عیب این روش نیز دشوار بودن انتخاب سیگنال کنترل است.

در [۲] روشی برای کار با عدم قطعیت در الگوریتم‌های تکاملی ارائه شده است. در یک طبقه‌بندی دیگر، راهکار برخورد با عدم قطعیت، افزایش نرخ سیگنال به نویز[۲] است که می‌تواند به صورت افزایش مقدار سیگنال یا کاهش مقدار عدم قطعیت باشد. در این تحقیق هر دو راهکار با هم آورده شده است. در بخش اول یک الگوریتم تکاملی ترتیبی و در بخش دوم روش کار با عدم قطعیت آورده ارائه شده است. در بخش اول از روش تطبیق ماتریس کوواریانس استفاده شده که در حالت برخط و نیز برای الگوریتم‌های تکاملی

[۱] Reference Tracking

[۲] Signal to noise ratio (SNR)