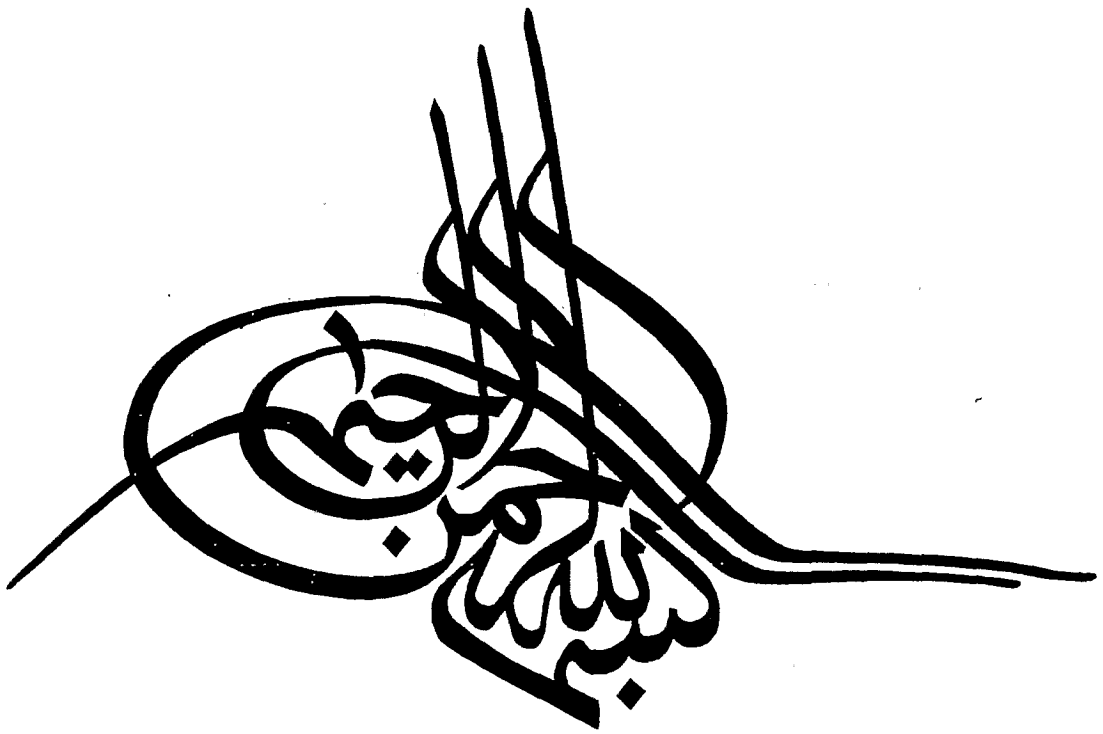
١٥٤٦٢

٥/



٩١٩٤٩

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق- گرایش کنترل

برنامه ریزی مسیر بهینه با استفاده از نامساویهای ماتریسی خطی و کنترل فازی حرکت روبات متحرک

نگارش:

گلناز حبیبی

اساتید راهنما:

دکتر محمد تقی حمیدی بهشتی

دکتر الیپس مسیحی

۱۳۸۷ /۵/۲۲

مهرماه ۱۳۸۶

۹۸۶۹

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته برق - کنترل است که در سال ۱۳۸۶ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر محمدتقی حیدری شهرستانی و دکتر الیاس سهای ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ــــ و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ــــ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب طاهره حسینی دانشجوی رشته برق - کنترل مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: طاهره حسینی

تاریخ و امضا: ۸۷/۲/۲۰

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

خانم گلناز حبیبی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان برنامه ریزی مسیر بهینه با استفاده از نامساویهای ماتریسی خطی و کنترل فازی حرکت روبات متحرك** در تاریخ ۱۳۸٦/۷/۱۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق – کنترل پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر حمیدرضا مومنی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حمید رضا تقی راد	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر حمیدرضا مومنی	دانشیار	
استاد ناظر راهنمای نعم	دکتر الیپس مسیحی	استادیار	

۱۳۸۷/۱۰/۲۲

شماره:

تاریخ:

بسمه تعالی

صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تاییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع پایان نامه کارشناسی ارشد

خانم گلناز حبیبی به شماره دانشجویی ۸٤٦۷۲۱۱۲٦

رشته و گرایش: برق - کنترل تعداد واحد:٦

تحت عنوان : برنامه ریزی مسیر بهینه با استفاده از نامساویهای ماتریسی خطی و کنترل فازی حرکت روبات متحرك

که در تاریخ ۱۳۸٦/۷/۱۸ با حضور هیات محترم داوران در دانشگاه تربیت مدرس برگزار گردید به شرح زیر است:

☑ قبول (با درجه: عالی امتیاز: ۱۹/۸) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	استادیار	
ممتحن داخل	دکتر حمیدرضا مومنی	دانشیار	
ممتحن خارج از دانشگاه	دکتر حمید رضا تقی راد	دانشیار	
مدیر گروه (نماینده گروه)	دکتر حمیدرضا مومنی	دانشیار	
استاد راهنمای دوم	دکتر الیاس مسیحی	استادیار	

تایید معاون پژوهشی دانشکده فنی مهندسی

دکتر سید حسام الدین ذگردی

توضیح : با توجه به ماده ۲٤ آئین نامه دوره های تحصیلات تکمیلی و آئین نامه ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد مصوب ۱۳۷۰.۹.۱٦ شورای پژوهشی دانشگاه امتیاز پایان نامه به شرح زیر مشخص می گردد.

الف) قابل قبول از

۱ - قبول با درجه عالی ۱۲ به بالا

۲ - قبول با درجه بسیار خوب ۱۸-۲۰

۳ - قبول با درجه خوب ۱٦-۱۷,۹۹

٤ - قابل قبول ۱٤-۱۵,۹۹

ب) مردود ۱۲-۱۳,۹۹

کمتر از ۱۲

دستور العمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه:با عنایت به سیاست های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت وکرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی ومعنوی دانشگاه و پژوهشگران لازم است اعضای هیات علمی دانشجویان دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح درمورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان نامه وساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است موارد ذیل را رعایت نمایید:

ماده۱: حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هر گونه بهره‌برداری ازآن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می‌باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه‌ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسید ه و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

۹۸۹۴۹

تقدیم به:

پدر، مادر و خواهرعزیزم که همواره پشتیبان و مشوقان اصلی من در زندگی بوده‌اند.

سپاس و قدردانی:

در ابتدا از زحمات خانواده عزیزم که همراهان و پشتیبان همیشگی من در طول مسیر زندگی بوده اند، قدردانی می‌نمایم.

با سپاس از زحمات بی دریغ اساتید گرانقدر، آقایان دکتر بهشتی و دکتر مسیحی که راهنمایی پایان نامه اینجانب را برعهده داشتند و بی شک بدون راهنمایی این بزرگواران انجام پروژه امکان پذیر نبود.

همچنین از استاد ارجمند جناب آقای دکتر تقی راد نیز که همواره مرا در طول دوران تحصیلات و به خصوص در روند پایان نامه راهنمایی و هدایت نموده اند کمال تشکر و امتنان را دارم.

لازم می دانم که از دوستان عزیز، آقایان مهندس نیما فاتحی و مهندس احسان پیمانی فروشانی که در طول انجام این پروژه مرا از راهنمایی ها و حمایتهایشان بهره‌مند ساخته اند، نهایت تشکر و سپاس را داشته باشم.

در پایان نیز از کلیه اساتید محترم گروه کنترل دانشگاه تربیت مدرس و تمامی دوستانی که مرا در طول دوره کارشناسی ارشد یاری رسانیده‌اند، سپاسگزاری می-نمایم.

چکیده

روباتهای متحرک به عنوان موجوداتی هوشمند به طور خودکار قادر به تعیین مسیر و کنترل حرکت خود بوده و امروزه جایگاه ویژه‌ای در شاخه‌های گوناگون نظامی صنعتی پزشکی و مصارف خانگی به خود اختصاص داده اند. در این میان، مساله برنامه ریزی مسیر حرکت روباتهای متحرک به عنوان یکی از مسائل کلیدی در علم روباتیک به شمار می‌رود. به طوریکه تاکنون روشهای متعددی در این حوزه مطرح گردیده است که با توجه به نوع مساله و شرایط محیط، کاربردهای متفاوتی دارند. این رساله به ارائه روشی نوین جهت برنامه ریزی مسیر حرکت روبات بر اساس نامساویهای ماتریسی خطی و برنامه ریزی اعداد صحیح صفر و یک می‌پردازد. در این روش، ابتدا فضای کار روبات به سلولهای مثلثی شکل تقسیم‌بندی می‌گردد. سپس با در نظر گرفتن مثلثهای آزاد به عنوان متغیرهای مساله و تعریف مجموعه ای از قیود، مساله برنامه‌ریزی مسیر به فرم برنامه ریزی اعداد صحیح صفر و یک و در ادامه به فرم نامساویهای ماتریسی خطی در می‌آید. با حل مساله بهینه سازی بدست آمده و بر اساس مینیمم کردن تابع هدف که همان طول مسیر میانی کانال است، کانالی بهینه و پیوسته از مثلثها از نقطه شروع به نقطه هدف حاصل می‌گردد. سپس از ایده تجزیه کانال به بزرگترین مجموعه های محدب ممکن ازنقطه شروع به هدف جهت تعیین مسیر گذرنده از کانال استفاده می-شود. از ویژگی های بارز این روش سادگی ساختار و کامل بودن آن و همچنین قابلیت تعمیم به فضاهای با ابعاد بالاتر می‌باشد. از طرفی می‌توان با وزن‌دار کردن مثلثهای فضای حرکتی، از الگوریتم مذکور در حل مسائل مقید به محدودیتهای ترافیکی بهره برد. در بخش دوم این رساله، به کنترل PID فازی روبات متحرک بر روی مسیر بدست آمده، پرداخته می‌شود. بدین ترتیب که پس از مشخص نمودن مختصات قرار گیری روبات توسط سنسورهای موقعیت و بر اساس قوانین فازی که با توجه به فاصله روبات تا مسیر مرجع و جهت حرکت روبات تعریف شده‌اند، روبات روی مسیر مطلوب هدایت می‌شود. مزیت استفاده از این کنترل‌کننده، فازی قابلیت اعمال آن برای مسیرهای فاقد پارامتر زمان می‌باشد. علاوه بر این، این کنترل کننده به مدل سیستم وابستگی نداشته و نسبت به عدم قطعیت ها و اغتشاشات مقاوم می‌باشد.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی مسیر، روبات متحرک، برنامه‌ریزی اعداد صحیح صفر ویک، نامساویهای ماتریسی خطی، کنترل‌کننده فازی

فهرست مطالب

فصل اول ۱

مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- ساختار روش پیشنهادی ۴

فصل دوم ۶

مروری بر برنامه‌ریزی و کنترل حرکت روباتهای متحرک ۶

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- مروری بر برنامه ریزی حرکت ۷

۲-۲-۱- اجتناب از تصادف ۸

۲-۲-۲- معیار عملکرد و مدل ریاضی عمومی برای برنامه ریزی مسیر ۸

۲-۲-۳- اصطلاحات پایه ای در برنامه ریزی حرکت ۹

۲-۲-۴- طبقه بندی مسائل و الگوریتم های برنامه ریزی حرکت ۱۱

۲-۲-۵- مراحل کلی برنامه ریزی حرکت ۱۴

۲-۳- مروری بر روشهای برنامه ریزی مسیر ۱۴

۲-۳-۱- شیوه های کلاسیک برنامه ریزی حرکت ۱۵

۲-۳-۲- مثلث بندی دلونی ۲۱

۲-۳-۳- برنامه ریزی ریاضی ۲۲

۲-۳-۴- الگوریتم های ابتکاری ۲۳

۲-۴- مباحث دیگر در برنامه‌ریزی حرکت ۲۵

۲-۵- ناوبری و کنترل روبات متحرک ۲۶

۲-۵-۱- دسته بندی ناوبری روباتها با توجه به محیط ۲۶

۲-۵-۲- دسته بندی ناوبری روباتها از نظر فیدبک و تعیین موقعیت ۲۶

۲-۵-۳- دسته بندی ناوبری روباتها از نظر استراتژی کنترلی ۳۳

۲-۶- خلاصه ۳۳

فصل سوم ۳۴

مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی اعداد صحیح صفر و یک و نامساویهای ماتریسی خطی ۳۴

۳-۱- مقدمه ۳۵

۳-۲- برنامه ریزی خطی ۳۵

۳-۲-۱- تاریخچه و کاربرد برنامه ریزی خطی ۳۵

۳-۳- برنامه ریزی اعداد صحیح ۳۶

۳-۴- مروری بر نامساویهای ماتریسی خطی(LMIs) ۳۷

۳-۴-۱- تاریخچه نامساویهای ماتریسی خطی ۳۷

۳-۴-۲- ساختار نامساویهای ماتریسی خطی (LMIs)..... ۳۸
۳-۵- خلاصه..... ۴۰

فصل چهارم..... ۴۱

برنامه ریزی مسیر روبات با استفاده از الگوریتم BIP/LMI..... ۴۱

۴-۱- مقدمه..... ۴۲
۴-۲- مراحل الگوریتم BIP/LMI..... ۴۲
۴-۲-۱- توصیف فضای کار روبات..... ۴۲
۴-۲-۲- تعریف متغیرها و فرمول بندی مساله..... ۴۴
۴-۲-۳- توابع وزنی ومعیار بهینگی..... ۴۴
۴-۲-۴- مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح صفر ویک..... ۴۹
۴-۲-۵- فرمول بندی مساله برنامه ریزی مسیربه صورت نامساویهای ماتریسی خطی..... ۵۱
۴-۳- استراتژیهای گوناگون تولید مسیر گذرنده از کانال..... ۵۲
۴-۳-۱- مسیر گذرنده از مرکز ثقل مثلثهای کانال:..... ۵۲
۴-۳-۲- مسیر گذرنده از میانه کانال..... ۵۲
۴-۳-۳- مسیر گذرنده از میانه مجموعه های محدب کانال..... ۵۲
۴- ۳-۴- تولرانس تقعر و اصلاح مجموعه های محدب..... ۵۳
۴-۳-۵- منحنی اسپلاین به عنوان مسیر نهایی..... ۵۳
۴-۴- شبیه سازی الگوریتم BIP/LMI برای برنامه ریزی مسیر..... ۵۴
۴-۴-۱- اجرای گام به گام الگوریتم BIP/LMI..... ۵۴
۴-۴-۲- مقایسه الگوریتم ارائه شده با روش نمودارورونویی تعمیم یافته و جستجوی گراف دیجیسترا..... ۵۶
۴-۴-۲- برنامه ریزی مسیر با استفاده از الگوریتم BIP/LMI در مقایسه با الگوریتم ژنتیک..... ۵۷
۴-۴-۳- بهبود مسیر با توجه به ابعاد روبات و از طریق وزن دهی مثلثها..... ۵۸

فصل پنجم..... ۶۰

توسعه الگوریتم BIP/LMI برای فضاهای با ابعاد بالاتر وکاربرد آن در ناوبری شهری..... ۶۰

۵-۲- توسعه الگوریتم BIP/LMIبه محیط سه بعدی..... ۶۱
۵-۲-۱- سلول بندی دلونی سه بعدی..... ۶۱
۵-۲-۲- تعمیم روابط مساله به حالت سه بعدی..... ۶۲
۵-۲-۲- فرمول بندی مساله برنامه ریزی مسیر سه بعدی به صورت LMI..... ۶۳
۵-۲-۳- تعیین توابع هدف در حالت سه بعدی..... ۶۴
۵-۲-۴- طراحی مسیر نهایی در فضای سه بعدی..... ۶۶
۵-۲-۵- نتایج حاصل از شبیه سازی و مقایسه نتایج در فضای سه بعدی..... ۶۸
۵-۳- توسعه الگوریتم به فضاهای با ابعاد بالاتر..... ۷۰
۵-۴- تحلیل پیچیدگی زمانی تحلیل پیچیدگی زمانی حل مساله:..... ۷۱
۵-۵- الگوریتم BIP/LMI وکاربرد آن در ناوبری شهری با محدودیت ترافیکی..... ۷۱
۵-۵-۱- تغییر الگوریتم BIP/LMI جهت بکار گیری در حمل ونقل شهری..... ۷۲

۵-۵-۲- اصلاح الگوریتم ناوبری با قیود کنترل ترافیک ۷۴
۵-۶- خلاصه و نتیجه گیری ۷۴
فصل ششم ۷۶
طراحی کنترل کننده فازی جهت تعقیب مسیر ۷۶
۶-۱- مقدمه ۷۷
۶-۲- مقدمه‌ای بر کنترل فازی و منطق فازی ۷۷
۶-۳- طراحی کنترل کننده فازی ۷۸
۶-۳-۱- سنسور موقعیت و جهت ۷۹
۶-۳-۲- مدل روبات متحرک ۷۹
۶-۳-۳- سینماتیک روباتهای دو چرخ تفاضلی ۸۰
۶-۳-۵- الگوریتم تطابق مسیر و بخش مقایسهکننده ۸۱
۶-۳-۶- کنترل کننده فازی ۸۲
۶-۳-۷- توابع عضویت ۸۵
۶-۳-۸- قوانین فازی ۸۷
۶-۴- نتایج حاصل از شبیه سازی کنترل فازی جهت تعقیب خط ۸۸
۶-۵- پیچهای تند و راهکارهای پیشنهادی ۹۰
۶-۵-۱- پیش بینی پیچهای مسیر جهت کنترل روبات ۹۰
۶-۵-۲- منحنی ب- اسپلاین و پارامتری کردن مسیر بر حسب زمان ۹۰
۶-۶- تعمیم کنترل کننده برای مسائل روی خط: ۹۱
۶-۷- اصلاح قوانین جهت پرهیز از برخورد روبات با موانع در کانالهای باریک ۹۱
۶-۸- خلاصه ۹۲
فصل هفتم ۹۳
نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۳
۷-۱- نتیجه گیری ۹۴
۷-۲- پیشنهادات ۹۵
مراجع ۹۷

فهرست شکلها

شکل (۱- ۱): نمونه ای از برنامه ریزی حرکت روبات متحرک..... ۳

شکل (۲-۱): اجتناب از تصادف محلی وسراسری ۸

شکل (۲-۲): (الف) یک فضای کاری با یک بازوی چرخان دو مفصلی با دو درجه آزادی (ب) فضای شکل دهی متناظر، فضای آزاد دو بعدی و یک مسیر نمونه از نقطه شروع به هدف را نمایش میدهد ۱۰

شکل (۲-۳): روش دیدنگار ۱۶

شکل (۲-۴): روش دیدنگار در فضای سه بعدی ۱۶

شکل (۲-۵): نمودار ورونویی(الف) و نمودار ورونویی تعمیم یافته (ب) ۱۷

شکل (۲-۶): (الف)مسیر پیگیری یک منحنی پیرامونی.(ب) شبکه زیر هدف ۱۸

شکل (۲-۷): (الف) تجزیه سلولی به روش ذوزنقه ای. (ب)تجزیه سلولی به روش مرتب. (ج) تجزیه سلولی تقریبی و یافتن یک مسیر بدون مانع. ۱۹

شکل (۲-۸): میدانهای پتانسیل (الف). پتانسیل هدف. (ب)پتانسیل موانع.(ج) ترکیب پتانسیلهای موانع و هدف..... ۲۰

شکل(۲-۹): (الف) مثلث بندی دلونی به همراه دوگان ورونویی آن، (ب) نمایش خاصیت سوم مثلث بندی دلونی ۲۱

شکل (۲-۱۰): نمایی از برنامه ریزی حرکت با استفاده از RRT..... ۲۴

شکل(۲-۱۱): سنسور اثر دوپلر به همراه روابط آن..... ۳۰

شکل (۲-۱۲): مقیاس های موقعیت یابی و کاربردها..... ۳۲

شکل (۳-۱): چند نمونه LMI با نواحی محدب متناظر با آنها..... ۳۹

شکل (۴-۱): نمونه ای از فضای حرکتی روبات به همراه تقسیم بندی فضا به روش دلونی ۴۳

شکل(۴-۲): تقسیم بندی فضا به روش دلونی و با دقت بالاتر ۴۳

شکل (۴-۳): نمونه ای از ناکارآمد بودن معیار تعداد مثلثها در تعیین کانال بهینه در حالی که مثلثهای مشخص شده بوسیله خط چین کانال بهینه واقعی را نشان میدهند..... ۴۵

شکل (۴-۴): نمونه ای از ناکارآمد بودن معیار محیط مثلثها در تعیین کانال بهینه در حالی که مثلثهای مشخص شده بوسیله خط چین کانال بهینه واقعی را نشان میدهند ۴۵

شکل(۴-۵): نمونه ای از ناکارآمد بودن معیار مساحت مثلثها در تعیین کانال بهینه در حالی که مثلثهای مشخص شده بوسیله خط چین کانال بهینه واقعی را نشان میدهند ۴۶

شکل(۴-۶): نمونه ای از ناکارآمد بودن معیار دیدنگار در تعیین کانال بهینه در حالی که مثلثهای مشخص شده بوسیله خط چین کانال بهینه واقعی را نشان میدهند ۴۶

شکل(۴-۷): یک کانال با مسیر میانی آن..... ۴۷

شکل(۴-۸): تاثیر موقعیت قرار گیری نقاط شروع وهدف در مثالهای شروع وهدف یکسان در انتخاب کانل بهینه ۴۸

شکل(۴-۹): نمونه‌ای از کانال بهینه با معیار بهینگی ترکیبی از طول میانه کانال و تعداد مثلثها..... ۴۹

شکل(۴-۱۰): نمونه ای از یک کانال- نواحی تیره رنگ موانع میباشتد. ۴۹

شکل(۴-۱۱): کانال بهینه به همراه مجموعه های محدب به تفکیک رنگی و مسیرهای گوناگون: مسیر گذرنده از مرکز ثقل(خط چین)، مسیر گذرنده از میانه کانال(نقطه چین) و مسیر گذرنده از میانه مجموعه های محدب(خط توپر) ۵۳

شکل(۴-۱۲): نمونه ای از برنامه‌ریزی مسیربا روش BIP/LMI، مدت زمان تولید مسیر ۰٫۸۴ثانیه است..... ۵۴

شکل (۴-۱۳): مرحله اول، تعریف موانع و نقاط شروع وهدف روبات ۵۴

شکل(۴-۱۴): مرحله دوم، مثلث بندی فضا به روش دلونی ۵۵

شکل (۴-۱۵): مرحله سوم و چهارم، یافتن کانال بهینه به همراه مسیر نهایی ۵۵

شکل (۴-۱۶): نمونه هایی از برنامه ریزی مسیر به روش BIP/LM به همراه نمایش مثلث بندی فضا ۵۶

شکل(۴-۱۷): نمونه هایی از برنامه ریزی مسیر به روش BIP/LMI بدون نمایش مثلث بندی فضا ۵۶

شکل(۴-۱۸):مقایسه برنامه ریزی مسیر در یک محیط ساده به روش BIP/LMI (الف) با الگوریتم ژنتیک (ب) ۵۸

شکل(۴-۱۹): :مقایسه برنامه ریزی مسیر در یک محیط پیچیده ه به روش BIP/LMI (الف) با الگوریتم ژنتیک (ب) ۵۸

شکل (۴-۲۰): بهبود الگوریتم با توجه به ابعاد روبات، مسیر بهینه از لحاظ طول مسیر(خط چین) و مسیر ایمن(خط توپر) مثلثهای مشخص شده با O مثلثهای خطرناک و مثلثهای رنگی، مثلثهای ممنوعه میباشند. موانع اجسام تیره رنگ میباشند. ۵۹

شکل (۵- ۱): نمونه ای از فضای سه بعدی حرکتی روبات به همراه تقسیم بندی فضا به روش دلونی سه بعدی ۶۲

شکل (۵-۲): پاره خط AB به عنوان مسیر میانی گذرنده از هرم شماره (۲) در صورت انتخاب همسایگان(۳) و (۱) . ۶۵

شکل (۵-۳) نمونه ای ازکانال سه بعدی یافت شده به همراه پنج مجموعه محدب (شماره گذاری شدهاند) ومسیرهای گوناگون: خط چین ها مسیر گذرنده از وسط فصل مشترکهای هرمها است و خط نقطه مسیر گذرنده از مرکز ثقل هرمها می‌باشد. مسیرهای توپر مسیر گذرنده از میانه چند وجهی های محدب و منحنی نشان داده شده منحنی اسپلاین متناظر با آن است. ۶۷

شکل (۵-۴): تعریف موانع ونقاط شروع هدف روبات..... ۶۸

شکل (۵-۵): تقسیم بندی فضا به روش دلونی سه بعدی ۶۹

شکل (۵-۶): یافتن کانال سه بعدی بهینه..... ۶۹

شکل (۵-۸): مقایسه روش BIP/LMI (الف) با روش ورنویی (ب) در فضای سه بعدی ۷۰

شکل (۵- ۹): نمونه ای از مساله برنامه ریزی مسیر وسیله نقلیه در شهر با محدودیت ترافیکی..... ۷۴

شکل(۶-۱): دیاگرام کلی برنامه ریزی و کنترل حرکت روبات متحرک ۷۹

شکل(۶-۲): شکل کلی روبات دو چرخ مستطیلی ۸۰

شکل(۶-۳): نمونه‌ای از مسیر به همراه موقعیت ها و جهت گیری های گوناگون روبات. نواحی محدب کانال با خط چین جدا شدهاند. ۸۳

شکل (۶-۴): بلوک دیاگرام کلی کنترل کننده فازی جهت هدایت روبات ۸۵
شکل(۶-۵): توابع عضویت ورودی و خروجی کنترلکننده فازی ۸۶
شکل(۶-۵): شبیه سازی حرکت روبات دو چرخ در گذر از محیطهای با موانع محدب و شرایط اولیه صفر ۸۹
شکل(۶-۶): شبیه سازی حرکت روبات دوچرخ درگذر از محیطهای با موانع مقعر و محدب و شرایط اولیه غیرصفر(الف) وصفر(ب)..... ۸۹
شکل(۶-۷): شبیه سازی حرکت روبات دو چرخ در گذر از پیچهای تند ۸۹

فهرست جداول

جدول (۲-۱): معیار های عملکرد و انواع محدودیت ها در مساله برنامه‌ریزی مسیر. ۹
جدول (۲-۲): مشخصات حرکت در طول یک مسیر. ۹
جدول(۳-۱): برخی از حلالهای پشتیبان واسط YALMIP ۳۸
جدول (۴-۱): مقایسه الگوریتم BIP/LMI با روش ورونویی ۵۷
جدول (۴-۲): مقایسه الگوریتم BIP/LMI با الگوریتم ژنتیک ۵۸
جدول (۶-۱): وضعیت های (۱) تا (۱۴) به همراه علامت ضرب خارجی، ضرب داخلی وفاصله متناظر باآنها ۸۴
جد.ل(۶-۲): مقادیر کیفی متغیرهای ورودی و خروجی کنترلکننده فازی ۸۵
جدول (۶-۳) : قوانین فازی برای کنترل کننده های جهت و موقعیت ۸۸
جدول (۶-۴) : قوانین فازی اضافه شده جهت پرهیز از برخورد با موانع در کانالهای باریک ۹۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

امروزه روباتهای متحرک به عنوان موجوداتی هوشمند که قادر به تصمیم‌گیری در مورد نحوه حرکت خود در محیطهای گوناگون بدون کمک انسان می‌باشند، کاربرد های وسیعی در عرصه‌های مختلف نظامی، کاوشهای فضاپیمایی، حمل ونقل و ناوبری، کاربردهای خانگی و حتی جهت سرگرمی پیدا نموده‌اند. از طرفی دیگر، در مکانهایی که حضور انسان در آنها غیرممکن یا خطرناک است، از قبیل کارخانه‌ها، سیارات دیگر، اقیانوسها و اعماق زمین و ... استفاده از روبات متحرک راه حل مناسبی به شمار می‌رود.

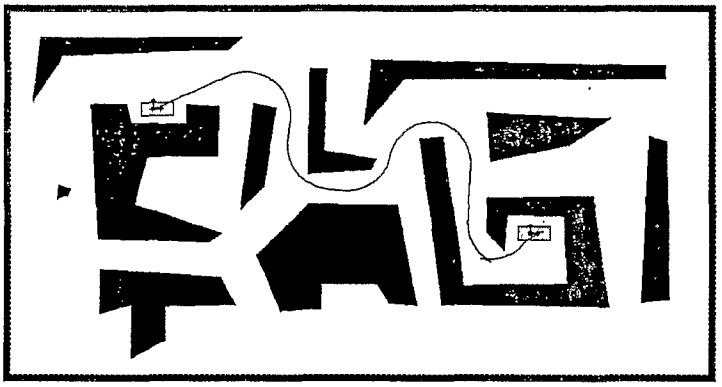
روباتهای متحرک در ابتدا بیشتر کاربرد نظامی داشته، به طوریکه اولین روبات متحرک در دوره جنگ جهانی دوم (۱۹۴۵-۱۹۳۹) ساخته شد. این روبات بمب پرنده‌ای بود که توسط کنترل رادار به هدف اصابت می‌کرد. در سال ۱۹۴۸ شخصی به نام گری والتر[1] دو روبات خودکار Elsie و Elmer را پدید آورد. این روباتها با استفاده از سنسورهای نوری قادر به جستجوی محیط و حرکت به سوی منبع نور بوده و از برخورد با موانع پرهیز می‌نمودند. همگام با پیشرفت تکنولوژی در حوزه الکترونیک و مکانیک، روباتهای هوشمندتری به بازار عرضه شدند. به طوری که در سال ۱۹۷۰ روبات Shakey به عنوان اولین روبات مستقل مجهز به دوربین و سنسورهای فاصله ساخته شد. این روبات با دریافت دستورهای کلی به طور خودکار گامهای حرکتی جهت انجام دستور داده شده را تشخیص داده و اجرا می‌نمود. در سال ۱۹۷۶ اولین روبات مریخ پیما توسط ناسا به فضا فرستاده شد. در اواخر دهه هفتاد، روباتها کاربردهای عمومی پیدا کرده به طوریکه از آنها جهت سرگرمی و آموزش استفاده می‌شد. اولین روباتهای اتومبیل در اوایل دهه هشتاد توسط تیم ارنست دیکمانز[2] در مونیخ پا به عرصه وجود گذاشت و این تیم توانست در سال ۱۹۹۵ روباتهای اتومبیل هوشمندی را عرضه کند که قادر به طی هزار مایل از مونیخ تا کپنهاگ بوده و و از طریق بینایی ماشین از میان اتومبیلها و خیابانهای گوناگون عبور می-کرد. اولین روبات تجاری تمام اتوماتیک هوشمند نیز توسط جوزف انگلبرگر[3]، پدر روباتهای صنعتی، در سال ۱۹۹۰برای کار در بیمارستان ارائه شد و روبات سگ آیبو در سال ۱۹۹۹ توسط شرکت سونی ساخته شد. در سالهای اخیر تحقیقات آکادمیک وسیعتری بر روی روباتهای متحرک صورت پذیرفته است. به طوریکه روباتهای امروزی علاوه بر قابلیت یادگیری و جستجو در محیط های ناشناخته، قادر به بیان عواطف واحساسات وتعامل با انسانها می‌باشند. لذا می‌توان از آنها به عنوان دستیار انسانها در زمینه‌های گوناگون پزشکی، خانگی، فضانوردی و نظامی بهره برد. به عنوان مثال، در سال ۲۰۰۷ مجموعه روباتهای هوشمند Kiva به صورت گروهی در بیمارستان جهت انتقال کابین‌های پزشکی و نمونه خون بیماران از بخش پرستاری به آزمایشگاه استفاده می‌شوند.[۱]

یکی از مشخصه‌های لازم برای روباتهای متحرک، قابلیت طراحی مسیر حرکت در فضای کاری

---

1 Gray Walter
2 Ernst Dickmanns
3 Joseph Engelberger

خود بدون کمک انسان می‌باشد که این ویژگی به برنامه ریزی حرکت روبات موسوم است. مساله برنامه‌ریزی حرکت روباتها به معنی طراحی یک مسیر عاری از موانع برای روبات از حالت اولیه (جهت و موقعیت اولیه) به حالت نهایی می‌باشد و یکی از مباحث اساسی در علم روباتیک به شمار می‌رود. همگام با توسعه روباتهای متحرک، روشهای بسیاری نیز جهت برنامه ریزی حرکت آنها نیز ارائه گردیدند. به طوریکه برنامه‌ریزی حرکت روباتها اولین بار در دهه ۶۰ میلادی با تلفیق مکانیزم روبات و عامل هوشمندی جهت یافتن مسیرعاری از برخورد با موانع از نقطه شروع به نقطه هدف مطرح گردید. تاکنون روشهای گوناگونی درحوزه برنامه ریزی مسیر مطرح گردیده است که در این میان مساله بهینگی مسیر و زمان انجام محاسبات اهمیت ویژه ای در طراحی مسیر، خصوصا در مسائل برنامه ریزی خارج خط[1] به خود اختصاص می‌دهد. در مسائل برنامه ریزی حرکت در حالت خارج خط، که محیط معمولا ثابت و از قبل معلوم است، معمولا بیش از یک مسیر برای حرکت روبات از نقطه شروع به مقصد نهایی میسر خواهد بود و در این گونه مسائل هدف یافتن مسیر بهینه از میان مسیرهای ممکن بر اساس یک معیار بهینگی میباشد. علاوه بر این، مساله برنامه ریزی حرکت از نظر پیچیدگی یک مساله PSPACE-hard وNP-complete بوده و ابعاد فضا تاثیر بسزایی در پیچیدگی مساله دارد [۲]. در واقع می‌توان گفت که فضای ممکن برای حرکت روباتها با افزایش ابعاد گسترش یافته به طوریکه برنامه ریزی مسیر درفضاهای سه بعدی و بالاتر به چالشی بدل خواهد شد. اهمیت ابعاد بالاتر در برنامه ریزی روباتها از آنجا ناشی می‌شود که می‌توان مسیر حرکت روباتها را در فضایی با ابعاد متناظر با درجات آزادی آنها توصیف نمود و بدین ترتیب به برنامه ریزی مسیر بازوی روباتهای ماهر نیز پرداخت.[۳] با توجه به آنچه گفته شد، انتخاب روشی کارآمد که علاوه بر یافتن مسیر بهینه در مدت زمان مناسب، قابلیت تعمیم به فضاهای با ابعاد بالاتر را نیز داشته باشد، همواره مطرح بوده که در این پایان نامه نیز بدان پرداخته‌شده است.



شکل (۱- ۱): نمونه ای از برنامه ریزی حرکت روبات متحرک.

یکی دیگر از مسائل مطرح در حوزه روباتیک، کنترل و ناوبری روباتهای متحرک می‌باشد که از دیرباز به شیوه‌های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است. روبات متحرک وسیله‌ای است که به تنهایی

[1] Offline

قادر به جابجا شدن باشد و چنین سیستمی فراتر از یک وسیله‌ی آزمایشگاهی به هر وسیله‌ی نقلیه (مانند هواپیما، کشتی، اتومبیل و غیره) که بخواهد بطور خودکار و هوشمند ناوبری شود اطلاق می‌گردد و ناوبری روبات متحرک مخصوصا در جاهایی که حضور انسان می‌تواند خطرناک یا ناممکن باشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همزمان با پیدایش روباتهای متحرک مساله کنترل آنها نیز به عنوان یک جز لاینفک مطرح گردیده و تاکنون کنترل کننده های گوناگونی با توجه به نوع روبات و محیط کار آن مطرح شده است که می‌توان مشابه سایر کنترل کننده ها آنها را به دو دسته کنترل کننده های کلاسیک و کنترل کننده های هوشمند تقسیم بندی نمود. امروزه کنترل کننده های هوشمند ابزاری کارآمد جهت هدایت روباتها به عنوان سیستمهای غیر خطی روباتهای به شمار می‌رود و در این میان کنترل‌کننده های فازی از جایگاه ویژه ای برخوردارند. کنترل‌کننده های فازی علاوه بر دارا بودن ویژگیهای کنترل‌کننده های کلاسیک، بدون در نظر گرفتن مدل و تنها با استفاده از قوانین وضع شده بر پایه دانش بشری و با توجه به سیگنال خطا به کنترل سیستم ها می پردازند. لذا کاربرد گسترده ای در کنترل سیستمهای غیر خطی و با دینامیک پیچیده مانند روباتهای متحرک به خود اختصاص داده‌اند[۴] و[۵] و[۶].

با توجه به آنچه گفته شد، استفاده از ابزاری کارا جهت طراحی مسیر و کنترل روبات متحرک به عنوان یک عامل کلیدی در علم روباتیک به شمار می‌رود و تاکنون روشهای بیشماری در هر دو حوزه طراحی مسیر وکنترل روبات متحرک پرداخته شده است. در برخی از این روشها طراحی و کنترل به طور همزمان صورت گرفته است. این روشها بیشتر برای کنترل روی خط[1] و برای مسائلی که اطلاعات از محیط به طور کامل در دست نمی‌باشد و یا محیط به طور دینامیکی در حال تغییر میباشد کاربرد داشته، اما با توجه به طراحی مسیر به صورت محلی، رسیدن به بهینگی مطلق را تضمین نمی‌نمایند. در مقابل روشهایی موجود است که با دو مقوله طراحی مسیر و کنترل به طور مجزا برخورد کرده به طوریکه در ابتدا به طراحی مسیر روبات بدون در نظر گرفتن محدودیتهای دینامیکی روبات می‌پردازد و در مرحله بعد با در نظر گرفتن دینامیک روبات، کنترل روبات روی مسیر تعیین شده انجام می‌پذیرد. اینگونه روشها که به روشهای خارج خط موسوم‌اند، در مسائلی که محیط از قبل شناخته شده و یا دستخوش تغییرات اندک می‌باشند، قابل استفاده می‌باشند. در این پایان نامه از رویکرد دوم جهت برنامه‌ریزی و کنترل روبات استفاده شده‌است.

۱-۲- ساختار روش پیشنهادی

قبل از معرفی الگوریتم پیشنهادی، ابتدا لازم است به فرضیاتی که برای محیط و نوع روبات در نظر گرفته شده است اشاره شود که عبارتند از:

- فضای حرکت روبات، دو بعدی است.
- موانع چند ضلعی و ثابت در نظر گرفته شده‌اند.

[1] Online