دانشگاه پیام نور

دانشکدهٔ فنی و مهندسی

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشتهٔ مهندسی‌کامپیوتر –گرایش نرم‌افزار

گروه مهندسی‌کامپیوتر وفناوری اطلاعات

ارائه روشی مبتنی بر یادگیری تقویتی به منظور رهیابی ربات متحرک در محیط نیمه ساختار یافته دینامیک درون ساختمان

ندا دائی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسی‌ن شی‌رازی

استاد مشاور:

دکتر رضا عسکری مقدم

شهری‌ور ۱۳۹۰

دانشگاه پیام نور

دانشکدهٔ فنی و مهندسی

دانشگاه پیام نور مرکز تهران

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشتهٔ مهندسی‌کامپیوتر –گرایش نرم‌افزار

گروه مهندسی‌کامپیوتر وفناوری اطلاعات

ارائه روشی مبتنی بر یادگیری تقویتی به منظور رهیابی ربات متحرک در محیط نیمه ساختار یافته دینامیک درون ساختمان

ندا دائی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسی‌ن شی‌رازی

استاد مشاور:

دکتر رضا عسکری مقدم

شهری‌ور ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

مادر دلسوزم،

پدر دوراندیشم،

همسر همیشه همراهم

و

فرزند دلبندم

تشکر و قدردانی:

با عنایت به لطف خداوند متعال توانستم این پروژه را به انجام برسانم و در این راه کسی که بیشترین تلاش را با لطفی خاص برای من انجام داد جناب آقای *دکترغلامحسین شیرازی*، استاد گرامی من بود. بی شک بدون همکاری ایشان این پروژه به سرانجام نمی رسید. از ایشان نهایت سپاس را دارم و امیدوارم در آینده باز هم زمینه ای برای همکاری با ایشان به وجود آید.

در اینجا ازجناب آقای دکتر *رضا عسکری مقدم* به خاطر مساعدت های ایشان بی نهایت قدر دانی می نمایم. از رهنمودها و تشویق‌های جناب آقای دکتر احمد فراهی *نیز* در درس سمینار، که زمینه‌ساز این تحقیق بوده است، صمیمانه قدردانی می کنم. در آخر از مهندس مهدی قنواتی برای معرفی نرم افزار شبیه ساز به کار رفته در این پایان نامه نیز تشکر می نمایم.

خداوند همه کسانی را که به پیشرفت علم در ایران خدمت می کنند توفیق، موفقیت و سربلندی عطا نماید.

چکیده

رهیابی یا ناوبری ربات عبارت است از حرکت ربات در محیط و رسیدن به هدف مطلوب بدون آنکه به موانع برخورد کند، رهیابی ربات درون محیط ساختمان از دو جنبه مورد اهمیت است. از طرفی محیط ساختمان نیمه ساختار یافته است، یعنی اندازه و مکان بعضی از موانع شناخته شده نیستند و از طرف دیگر موانع و هدف نیز می توانند متحرک باشند؛ لذا استفاده از سنسورهایی که ربات بتواند شناخت محلی از اطراف ربات به دست بیاورد امری اجتناب ناپذیر است.روشهای موجود رهیابی از مسئله توقف ربات در مینیمم های محلی رنج می برند.برای حل این مشکل در این پایان نامه روشی جدید برای رهیابی ربات درون ساختمان بر اساس یادگیری تقویتی و منطق فازی پیشنهاد می شود و مساله به دو فرض حالت قطعی و حالتهای محتمل تقسیم بندی می گردد. در حالت قطعی ربات نیازی به یادگیری ندارد بلکه بر اساس دانسته های قطعی کار می کند ولی در حالت مواجه با موانع متحرک و نامشخص از یادگیری تقویتی و منطق فازی استفاده می کند. در نهایت شبیه سازی با نرم افزار رباتیک Webots انجام شده است. نتایج برای یک ساختمان با چهار اتاق متفاوت و راهرو مورد ارزیابی قرار می گیرد و با الگوریتم بهینه سازی دسته ذرات مقایسه می گردد. ارزیابی ها نشان می دهند که در روش پیشنهادی، علاوه بر اینکه مسئله مینیمم محلی وجود ندارد، سرعت حرکت ربات در گذر از موانع افزایش می یابد در نتیجه مسیر یابی در زمان کوتاهتری انجام می شود.

واژه های کلیدی : رهیابی ربات، محیط نیمه ساختار یافته دینامیک، یادگیری تقویتی، منطق فازی، Q- Learning

فهرست مطالب

فصل۱: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تعریف مسئله و سؤال های اصلی تحقیق ۲

۱-۳ تاریخچه و سابقه موضوع ۳

۱-٤ فرضیه های تحقیق ۵

۱-۵ اهداف تحقیق ۵

۱-٦ نوآوری تحقیق ۵

۱-۷ مراحل تحقیق ٦

۱-۸ ساختار پایان نامه ٦

فصل۲: معرفی روش های رهیابی و اجتناب از مانع ۷

۲-۱ مقدمه ۸

۲-۲ تعریف اصطلاحات ۸

۲-۳ دسته بندی محیط ۹

۲-٤ روش های رهیابی ۱۰

۲-۵ روش های اجتناب از موانع ۱۲

٢-٦ معرفی الگوریتم بهینه سازی دسته ذرات ١٤

٢-٧ خلاصه مطالب فصل ١٧

فصل٣: یادگیری تقویتی ١٨

٣-١ بیان طرح ١٩

٣-١-١مدل یادگیری تقویتی ١٩

٣-١-٢مدل های رفتار بهینه ٢١

٣-١-٣دریافت پاداش با تاخیر ٢١

٣-١-٤فرایند تصمیم گیری مارکف ٢٢

٣-١-٥یادگیری سیاست بهینه ٢٢

٣-١-٦خلاصه مطالب فصل ٢٦

فصل٤: رهیابی با استفاده از روش یادگیری تقویتی ٢٧

٤-١ مقدمه ٢٨

٤-٢ سینماتیک ربات مدل شده ٢٨

٤-٣ حرکت به سمت یک نقطه مشخص(هدف محلی) ٣٠

٤-٤ الگوریتم حرکت در حالت ساختار یافته ٣١

٤-٥ پارامترهای شبیه سازی در حالت ساختارنیافته ٣٢

٤-٥-١حالتهای ممکن برای ربات و محیط ٣٢

٤-٥-٢ تابع عمل ٣٤

٤-٥-٣ تابع پاداش ٣٥

٤-٥-٤ خط مشی ٣٦
٤-٥-٥ فلوچارت یادگیری ٣٦
٤-٥-٦ اجرا ٣٩
٤-٦ شبیه سازی رهیابی بر اساس روش یادگیری تقویتی ٤٠
٤-٧ خلاصه مطالب فصل ٤١
فصل٥: روش پیشنهادی ٤٢
٥-١ مقدمه ٤٣
٥-٢ رهیابی ربات متحرک بر اساس روش یادگیری تقویتی و منطق فازی ٤٣
٥-٢-١ سمتهای فازی برای ربات متحرک ٤٣
٥-٢-٢ رهیابی در محیط ناشناخته ٤٦
٥-٢-٣ تابع پاداش ٤٩
٥-٢-٤ نتایج شبیه سازی روش پیشنهادی ٤٩
٦-٣ خلاصه مطالب فصل ٥١
فصل٦: ارزیابی روش پیشنهادی ٥٢
١-١ مقدمه ٥٣
٦-٢ رهیابی ربات متحرک بر اساس الگوریتم بهینه سازی دسته ذرات ٥٣
٦-٣ پارامترهای شبیه سازی ٥٤
٦-٤ ارزیابی نتایج شبیه سازی ٥٧
٦-٥ خلاصه نتایج فصل ٥٩

فصل۷: نتیجه گیری و پیشنهادها ٦٠

۷-۱ نتیجه گیری ٦١

۷-۲ پیشنهادها ٦٢

مراجع ٦٤

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ٦٧

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ٦٨

پیوست ٦٩

مقاله چاپ و ارائه شده در کنفرانس مباحث نوین در کامپیوتر CICIS2011

مقاله چاپ شده در International Journal Robots Education and Art (IJREA)

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ وضعیت آغازین الگوریتم بهینه سازی **دسته ذرات** (رکابداروزارع،۱۳۸۹).....۱۵

شکل ۳-۱ مدل استاندارد یادگیری تقویتی [Kaelbling,1996]. ۲۰

شکل٤-۱ الف: ربات به همراه ۹ سنسور مادون قرمز پیرامون آن با شماره گذاری ب : محیط ساختمان به همراه شماره اتاق.. ۲۹

شکل ٤-۲ متغیرهای ربات در مختصات جهانی.....۳۰

شکل ٤-۳ زوایای جهت گیری ربات و اختلاف زاویه ربات با هدف.....۳۰

شکل ٤-٤ نقاط کلیدی جلوی درب‌ها، شماره اتاق‌ها و مسیر ربات به سمت هدف. ۳۱

شکل ٤-٥ الف- جلو مانع (جلو راست)، ب-جلو مانع (راست جلو)، ج-راست مانع، د- عقب مانع، ه- گوشه راست مانع ...۳۳

شکل ٤-٦ عمل دور شدن به چپ ربات (دور زدن حول نقطه ای غیر از مرکز هندسی ربات).[Abbasi, 2011].....۳٤

شکل ٤-۷ رهیابی و عبور از مانع ربات در محیط دینامیک ناشناخته ٤۰

شکل ٤-۸ رهیابی ربات در محیط نیمه ساختار یافته در حضور انواع موانع. ٤۱

شکل ٥-۱ تابع عضویت β بر حسب رادیان. ٤۳

شکل ٥-۲ تابع عضویت سرعت زاویه ای بر حسب رادیان بر ثانیه. ٤٤

شکل ٥-۳ تابع عضویت فاصله ربات تا هدف بر حسب متر.....٤۳

شکل ٥-٤ سمتهای اطراف ربات به صورت فازی و تابع عضویت هر کدام. ٤٦

شکل ٥-٥ اعمال فازی ربات بر حسب سرعت زاویه ای چرخ‌ها.....٤۷

شکل ٥-٦ رهیابی الف :روش یادگیری تقویتی ب: ترکیب یادگیری تقویتی و منطق فازی.....٥۰

شکل ٦-۱ فاصله ذره مطلوب تا هدف و مانع.....٥٥

شکل ٦-۲ رهیابی بر اساس الگوریتم بهینه سازی دسته ذرات.....٥٦

شکل ٦-٣ حرکت ربات آبی با روش یادگیری تقویتی و ربات سبز با الگوریتم بهینه سازی دسته ذرات. ٥٧

شکل ٦-٤ الف ربات آبی با روش یادگیری زودتر به هدف رسیده در ٢٤ ثانیه و ب ربات سبز با الگوریتم بهینه سازی دسته ذرات دیرتر به هدف رسیده در ٣٢ ثانیه ٥٨

فهرست جداول

٤-١ حالتهای مواجهه با مانع و پاداش گذر از هر حالت ٣٥

٤-٢ جدول Q ها پس از اجرای یک سناریو..... ٣٩

٥-١ جدول قوانین فازی..... ٤٥

٥-٢ جدول حالتهای فازی ربات و اعمال فازی متناسب با آن ٤٨

٥-٣ جدول تابع پاداش ٤٩

فهرست علائم اختصاری

AFP	Adaptive Field Potential	میدان پتانسیل تطبیقی
ANN	Artificial Neural Network	شبکه های عصبی مصنوعی
CLF	Circle Right Front	حرکت دایره ای به راست و جلو
CRF	Circle Right Front	حرکت دایره ای به چپ و جلو
DE	Dynamic Enviroment	محیط دینامیکی
FSPF	Fuzzy-Scaled Potential Field	میدان پتانسیل فازی
FRL	Front Right Left	تخمین درست‌نمایی حداکثر
GPS	Global Positioning System	سیستم موقعیت‌یاب جهانی
MDP	Markov Decision Process	فرایند تصمیم گیری مارکف
MFT	Mean Field Theory	نظریه میدان میانگین
OA	Obstacle Avoidance	اجتناب از مانع
ODE	Open Dynamic Engine	موتور دینامیکی باز
PSO	Particle Swarm Optimaization	بهینه سازی دسته ذرات
QL	Q-Learning	یادگیری تقویتی
VFF	Virtual Force Field	میدان نیروی مجازی
VFH	Vector Field Histogram	هیستوگرام میدان برداری

فصل۱: مقدمه

۱–۱ مقدمه

در سال‌های اخیر، محققین در دانشگاه و صنعت بر روی توسعه ماشین‌های هوشمند مانند ربات‌ها تمرکز کرده‌اند که بتوانند در شرایط معین برای زمان طولانی و بدون انسان کار کنند. مانند کار در محیط‌های خطرناک و پر زحمت. ربات‌های متحرک ماشین‌های هوشمندی هستند که می‌توانند چنین وظایفی را انجام دهند. این ربات‌ها می‌توانند کارهای خدماتی و بازرسی زیادی را انجام دهند. ساختن ربات‌های خودمختار[1] از اهداف نهایی دانش رباتیک است. چنین ربات‌هایی کارهای فوق‌العاده ای بدون دخالت انسان می‌توانند انجام دهند. توسعه تکنولوژی‌های لازم برای ربات‌های خودمختار شامل مباحث شناخت محیط و احساس آن، تصمیم گیری، اجرا به وسیله عملگرها و کنترل است، تحقیقات در این زمینه‌ها ادامه دارد. به همین خاطر مشکلات و مسائل بسیار مهمی بروز کرده است که یکی از آن‌ها، رهیابی ربات‌ها، موضوع مورد بحث در این پروژه است.

۱–۲ تعریف مسئله و بیان سؤال‌های اصلی تحقیق

در این پروژه رباتی به قصد رسیدن به هدفی معین درون یک طبقه ساختمانی شروع به حرکت می‌کند. در این راستا باید درون محیط نیمه ساختار یافته ساختمان راه خود را بیابد و به موانع نیز برخورد نکند. سه چالش اصلی در محیط‌های ساختار نیافته شامل محل یابی، طرح ریزی مسیر و رهیابی است [Filliat,2003].

سؤالاتی که در این رهیابی مطرح می‌شوند چنین است:
ربات چه مسیری را به سمت هدف انتخاب کند که هم کوتاهترین مسیر باشد و هم کمترین زمان را صرف کند که به چالش طرح ریزی مسیر معروف است.

در نگاه اول، این طور به نظر می‌آید که رهیابی کار ساده ای است چون انسان‌ها با این مسئله، روزانه بدون هیچ سختی مواجه می‌شوند. در حقیقت این عمل به این خاطر ساده است که انسان

[1] Autonomous

بدون توجه و آگاهی به پیچیدگی‌های درک و احساس، به عنوان دو عنصر هوشمندی، این کار را انجام می‌دهد. با توجه به این موضوع، مسئله رهیابی برای یک ربات کنترل شده به وسیله کامپیوتر به دلیل نداشتن درک و حس، مسئله ای سخت است.

یک نگرش عمومی این است که رهیابی صرفاً اجتناب از تصادف با موانع است. در حقیقت رهیابی مفهومی گسترده تر از این است و شامل جنبه های مختلف زیر است:

- محاسبه مسیرهای عاری از تصادف بین موانع در حال حرکت
- هماهنگ سازی حرکت بین ربات‌های مختلف در مواردی که چندین ربات فعالیت می‌نمایند.

۱-۳ تاریخچه و سابقه موضوع

آغاز تحقیقات در زمینه رهیابی را می‌توان اواخر دهه ٦٠ دانست، زمانی که توسعه ربات‌های کنترل شده به وسیله کامپیوتر تازه مطرح شده بود. با این وجود بیشتر تلاش‌ها معطوف به دهه ۸۰ است به طوری که در این دوره مفاهیم عملی و تئوری این مسئله به سرعت رشد کردند. این رشد سریع را باید مرهون کار ترکیبی محققان هوش مصنوعی، تئوری علم کامپیوتر، ریاضیات و مهندسی مکانیک دانست. به طور کلی می‌توان دو رهیافت اصلی در حل مسئله رهیابی نام برد. رهیافت اول مبتنی بر هندسه محاسباتی است و سابقه مطالعاتی بیشتری دارد. رهیافت دوم مبتنی بر روش‌های اکتشافی است به طوری که شامل روش‌های محاسبات نرم (فازی، ژنتیک و شبکه عصبی) نیز می‌شود. اواسط دهه ۹۰ نیز یک رهیافت جدید که تلفیق هندسه محاسباتی و احتمالات بود معرفی شد با این امید که بتوان از پیچیدگی فضای پیکره بندی و جستجو در روش‌های مبتنی بر رهیافت اول کاست. روش‌های زیادی بر مبنای این دو رهیافت ارائه شده است. با این حال همه آن‌ها نمی‌توانند مسئله را در حالت کلی حل کنند[Abdel,2011].به عنوان مثال بعضی از روش‌ها فضای کاری ربات را به دو بعد و موانع را به اشکال چند ضلعی محدود می‌کنند. با وجود این تفاوت‌ها، اساس روش‌ها بر مبنای راهکارهای نقشه راه، تجزیه سلولی و میدان پتانسیل بنا نهاده شده‌اند.

در سال ۱۹۷۹، محققان در[Lozano, Wesley,1979] یک گراف دید برای ثبت مجموعهٔ تمام رئوس موانع و مجموعهٔ تمام اتصالات بین هر جفت رأس بدون همپوشانی موانع در فضای کاری پیشنهاد کردند.

در سال ۱۹۹۰، در[Latombe,1990] الگوریتمهای مبتنی بر تجزیهٔ فضای خالی گزارش شده است. اکثر این الگوریتمها دو ایراد دارند:

۱-اشکال مجاز بیش از اندازه محدودند به نحوی که در حالتهای کلی قابل اعمال نمی باشند.
۲- این الگوریتمها ممکن است حتی در صورت وجود جواب از یافتن آن ناکام بمانند.

تجزیهٔ سلولی دقیق[Latombe,1990] ، نقشه‌ی مسیر[1] [Wang,2000]، که به دلیل حجم بالای محاسبات، قادر به حل مسائل در محیط‌های پیچیده نیست. روش میدان پتانسیل مصنوعی [Shi,2009]، به دلیل سادگی‌اش برای مسیریابی محلی به کرات استفاده شده است. اما به دلیل مشکل توقف در مینیمم‌های محلی، در مسیریابی با شکست روبه‌رو خواهد شد. در سال‌های اخیر از یک سری ایده‌های پیاده‌سازی هوشمند مثل الگوریتم ژنتیک و روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات، به‌دلیل قدرت پوشش بالا[2] و توانایی‌شان در محاسبات هم‌زمان برای حل مسأله‌ی مسیریابی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. قربانی و همکارانش، [Ghorbani,2009]، از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله‌ی مسیریابی ربات‌های متحرک استفاده می‌کنند. سوگووارا[3] و همکارانش، [Sugawara,2004]، برای حل مسئله‌ی مسیریابی در یک محیط پویای مجازی، از الگوریتم کلونی مورچه‌ها استفاده می‌کنند. کو[4] و همکارانش، [Qu,2009]، از شبکه‌های عصبی برای مسیریابی و جلوگیری از برخورد با مانع در محیط‌های پویا استفاده می‌کنند.

[1] Road map
[2] Robust
[3] Sugiwara
[4] Qu

۱–۴ فرضیه های تحقیق

۱. محیط نیمه ساختار یافته است یعنی جای اتاق‌ها و درب‌ها و راهروها مشخص است اما موانع کوچک با ابعاد شناخته شده (مانند انسان) و ناشناخته نیز وجود دارد که می‌توانند ثابت یا متحرک باشند.
۲. ربات در هر لحظه به وسیله سیستمی مانند GPS، موقعیت خود و هدف را می‌داند.
۳. هدف حرکت ندارد، اما می‌تواند در هر یک از اتاق‌ها قرار بگیرد.

۱–۵ اهداف تحقیق

۱–ارائه روشی برای مسیریابی ربات متحرک درون ساختمان به نحوی که کوتاهترین مسیر ممکن را با کمترین زمان بپیماید.
۲–همچنین ربات در بین راه باید از موانع عبور کند.
۳–مقایسه روش ارائه شده با سایر روش‌ها.
٤–شبیه سازی روش ارائه شده با نرم افزار شبیه ساز ربات‌ها Webots.

۱–۶ نوآوری تحقیق

در این طرح روش جدیدی جهت مسیریابی ربات متحرک ارائه می‌شود، بدین صورت که ربات برای حالت قطعی ساختمان، نقاط کلیدی مسیر را که مانعی بر سر راه آن نیست به هم وصل می‌نماید و مسیرهای مختلف ممکن تا هدف را بررسی می‌کند و از بین آنها کوتاهترین مسیر را انتخاب می‌کند و به سمت هدف حرکت می‌کند. ولی برای حالت غیر قطعی که انواع موانع ثابت و متحرک بر سر راه ربات است از تلفیق روش یادگیری تقویتی و منطق فازی استفاده شده است که از نو آوری های این پایان نامه است، در نهایت نشان داده می‌شود که ترکیب این دو روش باعث به وجود آمدن روش قدرتمندی شده است که از اکثر روش‌های رهیابی شناخته شده مانند میدان پتانسیل، میدان نیروی

مجازی و الگوریتم بهینه سازی دسته ذرات، از جنبه کوتاهترین مسیر، و کمترین زمان و نرمی یا صافی مسیر در رتبه اول قرار می‌گیرد، همچنین این روش با روش بهینه سازی دسته ذرات نیز مقایسه شده است، نتایج بدست آمده قدرت یادگیری در ربات‌ها را نشان می‌دهد. جنبه شبیه سازی با نرم افزار Webots و دیدن دقیق نتایج طرح از دیگر نوآوری‌ها این طرح می‌باشد.

۱–۷ مراحل تحقیق

۱. بررسی مقالات و روش‌های موجود در رهیابی ربات متحرک درون ساختمان
۲. انجام محاسبات و برنامه نویسی روش ارائه شده
۳. مدل کردن و شبیه سازی روش ارائه شده و بررسی نتایج
٤. بهبود روش با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه سازی
۵. مقایسه این روش با سایر روش‌ها از نظر زمانی و مسافت پیموده شده

۱–۸ ساختار پایان نامه

در این فصل مقدمه‌ای جهت آشنایی کلی با موضوع و هدف اصلی این پایان نامه بیان شد. ترتیب ارائه مطالب در ادامه پایان‌نامه بدین شرح است: فصل دوم جهت آشنایی مقدماتی با مفاهیم رهیابی و اجتناب از مانع و روش‌های آن و همچنین مروری بر کارهای انجام شده می‌باشد. در فصل سوم به طور مختصر با روش یادگیری تقویتی آشنا می شویم. در فصل چهارم بعد از مدل کردن ربات متحرک و محیط حرکت ربات، رهیابی ربات با روش یادگیری تقویتی و به کمک نرم افزار Webots شبیه سازی شده است . در فصل پنجم روش پیشنهادی برای بهبود رهیابی ربات مدل شده با ترکیب یادگیری تقویتی و منطق فازی ارائه شده است .در فصل ششم ارزیابی و مقایسه روش پیشنهادی رهیابی ربات متحرک با روش بهینه سازی دسته ذرات از طریق شبیه سازی هر دو روش و مشاهده نتایج انجام شده است . سرانجام، در فصل هفتم مطالب بیان شده در این پایان‌نامه نتیجه‌گیری شده و پیشنهاداتی برای انجام کارهای آتی نیز ارائه گردیده است.