اول هیچ نبود کلمه بود

و

آن کلمه هم خدا بود.

۳۹۸۱۱

۱۳۸۰ /۱۲/ ۲۸
016513

دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر

عنوان :

مسیریابی ربات‌های متحرک با استفاده از الگوریتم کولونی مورچه‌ها

دانشجو :

علیرضا خیرخواه

استاد راهنما :

دکتر محمدرضا جاهدمطلق

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی

تیر ۸۰

۳۹۸۱۱

تقدیم

به شکوفه‌ی لبخندِ مادر

و

ستاره‌ی نگاه پدر

چکیده

یکی از استفاده‌های ربات متحرک ، استفاده‌ی نگهبانی یا بعبارت بهتر کاوش تمام محیط است. محل‌های بسیاری وجود دارند که استفاده از ربات‌ها برای کاوش و جستجو در آن‌ها اولویت دارد. مهم‌ترین مساله دراین مورد ، مسیریابی ربات است. هدف این است که ربات‌ها با صرف کم‌ترین زمان ممکن به تمام نقاط محیط سرکشی کنند. پژوهش‌های پیشین فقط از روش سعی و خطا و جستجو در عمق سودجسته‌اند. در این تحقیق با استفاده از الگوریتم کولونی مورچه‌ها دو روش برای مسیریابی ربات‌ها معرفی شده است. هم‌چنین براساس خصوصیات مسیریابی ربات‌های نگهبان ، روش جدید قدم زدن برروی گره معرفی می‌گردد. محیط در این روش‌ها با یک شبکه از گره‌ها مدل می‌شود. در دو روش قدم زدن برروی یال و جستجو در عمق ، ربات باید تمام مسیرها را طی کند ولی در روش قدم زدن برروی گره ، محیط طوری مدل می‌شود که ربات فقط لازم است از گره‌ها عبور کند تا توانسته باشد تمام محیط را پوشش دهد. ربات‌ها هنگام شروع هیچ شناختی از محیط ندارند. بعد از مدتی با تبادل اطلاعات بین یکدیگر که با روش مورد استفاده‌ی مورچه‌ها یعنی به‌جا گذاشتن ردپا مدل می‌شود ، آن‌ها قادر خواهند بود یک مسیر بهینه برای طی کردن تمام محیط پیدا کنند.

هر سه روشِ جستجو در عمق ، قدم زدن برروی یال و قدم زدن برروی گره از خصوصیات ردپاگذاری مورچه‌ها سود می‌برند. شبیه‌سازی انجام شده به بررسی تاثیر پارامترهای قدرت تحمل خطای حساسه‌ها و تعداد ربات‌ها خواهد پرداخت. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که روش قدم زدن برروی گره قدرت تحمل خطای بالاتری نسبت به دو روش دیگر دارد. در حالت کلی تعداد ربات‌ها نیز باعث کاهش زمان پوشش تمام محیط خواهد شد. البته با افزایش تعداد ربات‌ها به سمت بی‌نهایت ، نمی‌توان انتظار داشت که زمان به سمت صفر میل کند.

کلمات کلیدی

بهینه‌سازی ، کولونی مورچه‌ها ، ربات‌های نگهبان

تقدیر و سپاس

بهترین سپاس‌های خود را نثار محبت‌های بی‌دریغ استاد گرانقدرم **دکترمحمدرضا جاهدمطلق** می‌دارم که با تحملی ستودنی در طی اجرای این پروژه مشوق و راهنمای من بودند. امید که سال‌های سال سایه‌گستر جامعه‌ی علمی این مرز و بوم باشند.

برخود فرض دارم که از زحمات خواهرزاده‌ی عزیزم **زهیر افتخاری** در جمع‌آوری و سرهم‌بندی مطالب نهایت تقدیر را بعمل آورم. باشد روزی که افق‌های سعادت را بپیماید. در این جا از دوست خوبم آقای **جمال کریمی** که زحمت ویرایش نهایی را متقبل شدند ، کمال سپاس را دارم.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول- بهینه‌سازی ۵

۱-۱- مروری بـر بهینه‌سـازی ۶

۱-۱-۱- بهینه‌سازی در طراحی‌های مهندسی ۷

۱-۱-۲- بررسی روش‌های بهینه‌سازی ۸

۱-۱-۲-۱- روش‌های شمارشـی ۹

۱-۱-۲-۲- روش‌هـای محاسـباتی ۹

۱-۱-۲-۳- روش‌های بهینه‌سازی تصـادفی ۱۱

۱-۲- مروری بر پژوهش‌های پیشـین ۱۳

۱-۲-۱- پژوهش دوریگو ، کلرنـی ، مـانیزو ۱۳

۱-۲-۲- پژوهش دوریگو ، گامباردلا ۱۳

۱-۲-۳- پژوهش بلونهایمر ، هارتل ، استراس ۱۴

۱-۲-٤- پژوهش بروکستن ، مالو ، واگنر ۱۶

فصل دوم- کولونی مورچه‌ها ۱۹

۲-۱- مقدمه ۲۰

۲-۲- الگوریتم بهینه‌سازی حرکت گروهی مورچه‌ها ۲۱

۲-۲-۱- رفتار حرکت گروهی مورچه‌ها ۲۱

۲-۲-۲- بهینه سازی ترکیبی ۲۵

۲-۲-۲-۱- الگوریتم سیستم مورچه‌ای ۲۶

۲-۲-۳- بهینه سازی پیوسته ۲۸

۲-۲-۳-۱- جستجوی محلی ۳۱

۲-۲-۳-۲- جستجوی کلی ۳۳

۲-۲-۳-۳- تبخیر فرمون ۳۶

۲-۲-٤- بهینه‌سازی با ارضاء محدودیت ۳۷

۲-۲-۵- مقایسه‌ی الگوریتم‌های واقعی و دوتایی کد شده ۳۹

۲-۲-۵-۱- بهینه‌سازی با کولونی گسسته مورچه‌ها ٤۰

۲-۳- توابع آزمایش بهینه‌سازی ٤٢
۲-۳-۱- آزمایش دی‌جونگ ٤٣
۲-۳-۲-۱- آزمایش دی‌جونگ دو بعـدی ٤٣
۲-۳-۲-۲- آزمایش دی‌جونگ پنج بُعدی ٤٣
۲-۳-۲- آزمایش ضربه‌ی کین ٤٤
۲-۳-۳- آزمایش گری‌وانـگ ٤٧
۲-۳-٤- آزمایش همایفر ٤٩
۲-۳-٤-۱- تابع دو بعدی ٤٩
۲-۳-٤-۲- تابع پنج بعدی ٥١
۲-۳-٥- آزمایش بالوجای صد بُعدی ٥١
۲-۳-٥-۱- تابع ۱ ..... ٥٢
۲-۳-٥-۲- تابع ۲ ..... ٥٣
۲-۳-٥-۳- تابع ۳ ..... ٥٥
۲-۳-٦- بهینه‌سازی وزن شبکه‌ی عصبی مصنوعی ٥٦
۲-٤- بررسی آزمایش‌ها ٥٨
۲-٥- بررسی اثر پارامترها ٦١
۲-٥-۱- درجه‌ی غیرخطی بودن جستجوی کلی ٦٢
۲-٥-۲- احتمال تقاطع ٦٢
۲-٥-۳- احتمال جهش ٦٥
۲-٥-٤- نرخ جستجوگران محلی و کلی ٦٥
۲-٥-٥- خلاصه ٦٨
۲-٦- جمع بندی ٦٨
فصل سوم- ربات‌های نگهبان ٧٠
۳-۱- مقدمه ٧١
۳-۲- تعریف مساله و خلاصه‌ای از نتایج ٧٢
۳-۳- روش قدم زدن بر روی یال ٧٥
۳-۳-۱- تحلیل الگوریتم EAW ٧٦
۳-۳-۲- تاثیر نویز و خطا در الگوریتم EAW ٨٤
۳-٤- روش قدم زدن با جستجو در عمق ٨٥

۳-٤-۱- تحلیل DFSAW ۸۹
۳-۵- روش قدم زدن بر روی گره ۹۰
۳-٦- جمع‌بندی ۹۳
فصل چهارم- شبیه‌سازی ۹٤
٤-۱- مقدمه ۹۵
٤-۲- بررسی الگوریتم قدم‌زدن روی یال ۹۵
٤-۳- بررسی الگوریتم قدم‌زدن با جستجو در عمق ۹۹
٤-٤- بررسی الگوریتم قدم‌زدن روی گره ۱۰۲
٤-۵- جمع‌بندی ۱۰۵
نتیجه‌گیری و پیش‌نهاد ۱۱۱
منابع و مراجع ۱۱۵

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- یک دسته‌بندی از روش‌های بهینه‌سازی ۱۰
شکل ۱-۲- انتخاب مسیر با تقلید ۱۷
شکل ۲-۱- خروج مورچه‌ها از لانه و پراکنده شدن برای یافتن غذا ۲۲
شکل ۲-۲- فرمون‌های به‌جای مانده در مسیر لانه به غذا ۲۲
شکل ۲-۳- کوتاه‌ترین مسیر برای رسیدن به غذا ۲۳
شکل ۲-٤- مسیر حول مانع ۲۳
شکل ۲-۵- حرکت مورچه از لانه بطرف غذا با وجود مانع ۲٤
شکل ۲-٦- الگوریتم AS ۲۹
شکل ۲-۷- ایجاد ناحیه جدید ۳۳
شکل ۲-۸- نواحی قابل‌قبول و غیرقابل‌قبول ۳۹
شکل ۲-۹- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در تابع دی‌جونگ دو بعدی ٤۵
شکل ۲-۱۰- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در تابع دی‌جونگ پنج بعدی ٤٦
شکل ۲-۱۱- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در تابع ضربه‌ی کین ٤۷
شکل ۲-۱۲- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در تابع گری‌وانگ ٤۸
شکل ۲-۱۳- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در تابع دو بعدی همایفر ۵۰
شکل ۲-۱٤- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در تابع پنج بعدی همایفر ۵۲
شکل ۲-۱۵- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در تابع اول بالوجا ۵٤
شکل ۲-۱٦- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در تابع دوم بالوجا ۵۵
شکل ۲-۱۷- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در تابع سوم بالوجا ۵۷
شکل ۲-۱۸- توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی ۵۸
شکل ۲-۱۹- فرآیند هم‌گرایی میانگین برازندگی در شبکه عصبی مصنوعی ۵۹
شکل ۲-۲۰- اثر تغییرات درجه‌ی غیرخطی در آزمایش ضربه‌ی کین ٦۳
شکل ۲-۲۱- اثر تغییرات درجه‌ی غیرخطی در آزمایش گری‌وانگ ٦۳
شکل ۲-۲۲- اثر تغییرات احتمال تقاطع در آزمایش ضربه‌ی کین ٦٤
شکل ۲-۲۳- اثر تغییرات احتمال تقاطع در آزمایش گری‌وانگ ٦٤
شکل ۲-۲٤- اثر تغییرات احتمال جهش در آزمایش ضربه‌ی کین ٦٦
شکل ۲-۲۵- اثر تغییرات احتمال جهش در آزمایش گری‌وانگ ٦٦

شکل ۲-۲۶- اثر تغییرات نرخ جستجوگران در آزمایش ضربه‌ی کین ۶۷
شکل ۲-۲۷- اثر تغییرات نرخ جستجوگران در آزمایش گری‌وانگ ۶۷
شکل ٤-۱- محیط مورد آزمایش ۹۶
شکل ٤-۲- نحوه‌ی هم‌گرایی الگوریتم EAW با میزان خطای ۰ ..... ۹۷
شکل ٤-۳- عمل‌کرد الگوریتم EAW با مقادیر مختلف خطای حساسه ۹۸
شکل ٤-٤- نحوه‌ی هم‌گرایی الگوریتم DFSAW با میزان خطای ۰ ..... ۱۰۱
شکل ٤-۵- عمل‌کرد الگوریتم DFSAW با مقادیر مختلف دقت حساسه ۱۰۲
شکل ٤-٦- نحوه‌ی هم‌گرایی الگوریتم VAW با میزان خطای ۰ ..... ۱۰٤
شکل ٤-۷- عمل‌کرد الگوریتم VAW با مقادیر مختلف دقت حساسه ۱۰۵
شکل ٤-۸- عمل‌کرد الگوریتم سه روش با میزان خطای حساسه برابر ۰ ..... ۱۰۸
شکل ٤-۹- عمل‌کرد الگوریتم سه روش با میزان خطای حساسه برابر ۱۰ ..... ۱۰۹
شکل ٤-۱۰- عمل‌کرد الگوریتم سه روش با میزان خطای حساسه برابر ۲۰ ..... ۱۱۰

فهرست جداول

جدول ۲-۱- نتایج آزمایش با تابع دی‌جونگ دو بُعدی ٤٥

جدول ۲-۲- نتایج آزمایش با تابع دی‌جونگ پنج بُعدی ٤٥

جدول ۲-۳- نتایج آزمایش با تابع ضربه‌ی کین ٤٦

جدول ۲-٤- نتایج آزمایش با تابع گری‌وانگ ٤٨

جدول ۲-٥- نتایج آزمایش با تابع دوبعدی همایفر ٥٠

جدول ۲-٦- نتایج آزمایش با تابع پنج بعدی همایفر ٥٢

جدول ۲-۷- نتایج آزمایش با تابع اول بالوجا ٥٤

جدول ۲-۸- نتایج آزمایش با تابع دوم بالوجا ٥٥

جدول ۲-۹- نتایج آزمایش با تابع سوم بالوجا ٥٦

جدول ۲-۱۰- نتایج آزمایش شبکه عصبی مصنوعی ٥٨

جدول ۲-۱۱- خلاصه‌ای از نتایج ٦٠

جدول ٤-۱- نتایج آزمایش با مقادیر مختلف پارامترها برای روش EAW ۹۸

جدول ٤-۲- نتایج آزمایش با مقادیر مختلف پارامترها برای روش DFSAW ۱۰۱

جدول ٤-۳- نتایج آزمایش با مقادیر مختلف پارامترها برای روش VAW ۱۰٤

جدول ٤-٤- نتایج آزمایش با مقادیر مختلف پارامترها برای سه روش ۱۰۷

مقدمه

توابع بهینه‌سازی ، نقش مهمی را در طراحی‌های مهندسی بازی می‌کنند و از طرف دیگر روش‌های فرموله‌شده‌ای برای جواب‌گویی به این مسائل وجود ندارد. تکنیک‌های بهینه‌سازی برای پیدا کردن مقدار بهینه پارامترهایی بکار می‌روند که قلب طراحی می‌باشند. برای مثال در طراحی یک فیلتر ، لایه عمومی مدار ثابت است ولی اجزائی که باهم ترکیب می‌شوند تا مدار را بسازند بسیار متنوع هستند و لذا نیاز به بهینه‌سازی احساس می‌شود.

بطور سنتی ، مهندسان براساس دانش و تجربیات گذشته‌ی خود به یک راه‌حل می‌رسند و فرآیند طراحی ، تعدادی عمل تکراری برای اثبات طرح می‌شود. این راه‌حل‌ها بسیار وقت‌گیر و گران می‌باشند. کمااین‌که تعداد زیادی پیش طرح نیز معمولاً نیاز است. بنابراین روش‌های بهینه‌سازی بسیار محبوب‌تر از روش‌های محاسبه‌ای ، بکاربردن یک مدل ریاضی و یا شبیه‌سازی نیازهای یک سیستم می‌باشد. روش‌های استاندارد ریاضی اغلب قابل اجرا و پیاده‌سازی نمی‌باشند چون به یک مدل جبری براساس یک سری اطلاعات متغیر نیاز دارند. هنگامی که با طراحی‌های پیچیده سروکار می‌باشد ، باید از این مدل یک تابع استخراج شود و به بهترین حالت تقریب زده شود.

روش‌هایی که منحصراً برای تعیین صلاحیت راه‌حل آزمایش بکارمی‌روند را روش‌های مستقیم[۱] می‌نامند. در روش‌های مستقیم ، خانواده گسترده‌ای از الگوریتم‌های بهینه‌سازی وجود دارد که با فرآیند جستجوی اتفاقی سعی می‌کنند تا محل بهینه تابع را بدست آورند. جستجوی منحصراً اتفاقی بسیار بی‌فایده است ، ازاین‌رو برای پیداکردن یک طراحی مناسب بکاربرده نمی‌شوند. الگوریتم‌های جستجوی اتفاقی ، روش‌های متنوعی بکار می‌برند تا به تدریج دانش خود را در مورد مساله از آزمایش‌های بی‌شمار افزایش دهند و از این اندوخته‌ها و اطلاعات برای راهنمایی کردن فرآیند جستجو استفاده کنند.

هم‌اکنون روش‌های بهینه‌سازی زیادی مبتنی بر طبیعت وجود دارد. الگوریتم‌های تکاملی[۲] روش جستجویی است که برمبنای اصول تکامل و بقا، بنانهاده شده‌است. شبیه‌ساز آنلینگ[۳] یک تکنیک بهینه‌سازی است که براساس روش دوام دادن فلزات به کمک حرارت و سپس سرد کردن کار

۱- *Direct Method*

۲- *Evolution Algorithm*

۳- *Simulated Annealing*

می‌کند. روش‌های یادگیری رقابتی[۱] براساس جستجوی شبکه‌عصبی[۲] کار می‌کنند. یادگیری رقابتی پایه روش PBIL[۳] می‌باشد.

در این تز به بررسی یکی دیگر از شاه‌کارهای طبیعت پرداخته خواهدشد. مورچه‌ها با وجود این‌که فاقد بینایی هستند قادرند تا به خوبی مسیر بین لانه و غذا را پیدا کنند و از همه مهم‌تر آن را بهینه سازند. ارتباط مورچه‌ها تنها از طریق به جاگذاشتن نوعی اسید به نام اسید فرمیک یا فرمون بعنوان ردپا صورت می‌گیرد. مورچه‌ها هنگام حرکت در فواصل مشخص ، این ردپا را از خود باقی می‌گذارند تا دیگران قادر باشند از این ردپاها برای یافتن مسیر استفاده کنند.

در فصل اول مروری خواهدشد بر مفاهیم بهینه‌سازی ، سپس پژوهش‌های دیگری که برروی این مقوله‌ی خاص یعنی حرکت گروهی مورچه‌ها انجام شده‌است بطور مختصر عنوان خواهدشد. ساختار اصلی الگوریتم کولونی مورچه‌ها ، تئوری‌های موجود ، نحوه‌ی عمل‌کرد ، دامنه‌ی کارآیی و خصوصیات بارز آن در فصل دوم به تفصیل آورده شده‌است. در این فصل ، پارامترهای مختلف دخیل در الگوریتم بصورت مجزا عنوان شده‌است و اثر آن‌ها بررسی می‌شود. در انتهای فصل دوم ، آزمایش‌هایی با تعدادی تابع انجام پذیرفته است و اثر این پارامترها بصورت عملی نشان داده شده‌است.

مسیریابی یکی از مسائل مهم و قابل تامل در زمینه‌ی ربات‌های متحرک می‌باشد. ربات‌های متحرک برای استفاده از توانایی حرکتی خود ، لازم است که در مسیری مشخص حرکت کنند. الگوریتم و روش‌های مختلفی در این مورد عنوان شده است. این تز به بررسی یکی از این مسائل مسیریابی می‌پردازد و سعی در حل آن دارد. ربات‌های نگهبان ، مسیریابی خاص خود را دارند. آن‌ها باید یک مسیر بسته را بصورت متناوب طی کنند. در ضمن باید قادر باشند تضمین کنند که در مدت مشخصی از هر نقطه بازدید بعمل خواهند آورد. صورت دقیق مساله و روش‌های ارائه شده‌ی مبتنی بر کولونی مورچه‌ها در فصل سوم آورده شده‌است. فصل چهارم ، شرح دقیق آزمایش‌ها می‌باشد. با استفاده از نمودارها و جداول مختلف حاصل از ۹۰۰۰ آزمایش ، بطور مبسوط روش‌های ذکر شده

۱- *Competitive learning*

۲- *Neural Network*

۳- *Population-Based Incremental Learning*

و پارامترهای دخیل در آن بررسی می‌گردند. نتایج حاصله از این تز و کارهای آتی که می‌تواند انجام پذیرد در فصل پنجم بیان شده‌است.