بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مکانیک

گروه مکاترونیک

عنوان:

طراحی مسیر دینامیکی و پیاده‌سازی ناوبری برای ربات سیار در یک محیط ناشناخته با حضور موانع

دانشجو:

مهدی نظری سرچشمه

استاد راهنما:

دکتر مهدی بامداد

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

دی ۱۳۹۳

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که شمع وجودشان

گرمابخش و مشوق من

در تمامی مراحل زندگی بوده است.

تشکر و قدردانی

با شکر به درگاه خداوند متعال که آنچه انجام شده با لطف و عنایت او بوده است. از استاد راهنمای ارجمندم آقای دکتر مهدی بامداد که در انجام این پایان‌نامه مشوق و راهنمای من بودند صمیمانه سپاسگذاری می‌کنم.

تعهد نامه

اینجانب مهدی نظری سرچشمه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مکاترونیک دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی مسیر دینامیکی و پیاده‌سازی ناوبری برای ربات سیار در یک محیط ناشناخته با حضور موانع تحت راهنمائی دکتر مهدی بامداد 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

ناوبری در محیط پیرامونی برای هر وسیله متحرکی مهم است. اجتناب از موقعیت‌های پرخطر نظیر برخوردها و شرایط غیر ایمن به یک مسئله بهینه‌سازی مسیر منجر می‌شود. این مسئله، طراحی مسیری است که تعدادی معیار را با رعایت شرایط مرزی کمینه و یا بیشینه می‌نماید.

مسئله طراحی مسیر بدون برخورد برای ربات‌های سیار در این رساله مطرح می‌شود و روش‌های تکاملی متعددی برای حل مسئله بهینه‌سازی به کار گرفته می‌شود. بعلاوه برای اجتناب از موانع، گرادیان تابع پتانسیل واقع‌شده روی موانع بر پایه الگوریتم میدان پتانسیل در نظر گرفته می‌شود.

این مسئله بهینه‌سازی می‌تواند با اثرات شیب سطح حرکت و دینامیک ربات تلفیق گردد. به‌منظور ارزیابی بازدهی انرژی مسئله جدیدی تدوین می‌گردد. تابع هدف بر پایه انرژی ربات و به‌منظور افزایش زمان اجرای عملیات ربات و شارژ باتری کمینه می‌شود. این انرژی اغلب در موتورها هدر می‌رود که این هدر رفت به منحنی سرعت ورودی ربات سیار وابسته است.

الگوریتم‌های ارائه شده برای تولید مسیر حرکت ربات‌های سیار چرخ‌دار، کلیت و بازدهی مناسبی دارند. آزمایشات عملی به‌منظور اعتبار سنجی رویه پیشنهاد شده انجام می‌شود. نتایج گزارشات با داده‌های حرکتی از ربات رومبای شرکت آی‌ربات جمع‌آوری می‌شود. تلاش‌ها روی بهبود این ربات خانگی به یک سامانه تحقیقاتی رباتیک متمرکز می‌شود تا از حسگرهای ربات بهره ببرد. شبیه‌ساز گرافیکی برای دسترسی به جزئیات داده‌های مورد نیاز الگوریتم‌ها طراحی می‌شود.

شبیه‌سازی و آزمایشات تجربی صورت گرفته و مقایسه می‌شوند. انطباق آن‌ها نشان می‌دهد که عملکرد خوبی در حل مسائل بهینه‌سازی برای اجتناب از کمینه‌های محلی محقق شده است.

کلمات کلیدی: ناوبری، بهینه‌سازی، الگوریتم میدان پتانسیل، دینامیک ربات، انرژی، ربات سیار چرخ‌دار، منحنی سرعت، ربات رومبا، شبیه‌ساز گرافیکی

فهرست فصل‌ها

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مسیریابی به روش برون‌خط و در حالت جهانی برای ربات سیار ۳

۱-۲-۱- روش میدان پتانسیل ۴

۱-۲-۲- مسیریابی از طریق برنامه‌ریزی پویا ۴

۱-۲-۳- الگوریتم‌های تکاملی در مسیریابی ۴

۱-۳- مشکلات و محاسن مسیریابی در حالت برون‌خط ۵

۱-۴- مسیریابی به روش برخط (حالت محلی) ۵

۱-۵- ابزارهای محقق کننده مسیریابی برخط ۶

۱-۶- انرژی در ربات‌های سیار ۸

۱-۷- ساختار پایان‌نامه ۹

فصل دوم: معادلات حرکت ربات سیار چرخ‌دار ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- سیستم‌های مختصات ۱۲

۲-۳- مدل سینماتیکی ربات سیار ۱۳

۲-۳-۱- مدل سینماتیک مستقیم ۱۳

۲-۳-۲- قیود سینماتیکی ۱۴

۲-۴- مدل‌سازی دینامیکی ربات سیار ۱۶

۲-۴-۱- روش لاگرانژ ۱۶

۲-۵- مدل موتور ربات سیار دوچرخ ۲۲

فصل سوم: مسیریابی برای ربات سیار به روش الگوریتم میدان پتانسیل ۲۳

۳-۱- مقدمه ۲۴

۳-۲- میدان پتانسیل مصنوعی سنتی ۲۴

۳-۳- میدان پتانسیل مصنوعی بهبود داده شده ۲۸
۳-۳-۱- تعریف تابع پتانسیل جذب ۲۸
۳-۳-۲- تعریف تابع پتانسیل دافعه ۳۰
۳-۴- نتایج شبیه‌سازی ۳۰
۳-۴-۱- شبیه‌سازی با میدان پتانسیل بهبود داده شده ۳۱
۳-۴-۲- شبیه‌سازی با میدان پتانسیل سنتی ۳۲
فصل چهارم: مسیریابی برای ربات سیار با الگوریتم‌های تکاملی ۳۵
۴-۱- مقدمه ۳۶
۴-۲- اجزای مسئله طراحی مسیر ۳۶
۴-۲-۱ منحنی‌های بی‌اسپلاین ۳۸
۴-۲-۲- الگوریتم‌های تکاملی و نحوه بهینه‌سازی ۳۹
۴-۳- نتایج شبیه‌سازی ۳۹
فصل پنجم: طراحی مسیر برای ربات با هدف کمینه انرژی مصرفی ۴۹
۵-۱ مقدمه ۵۰
۵-۲- مدل ربات سیار ۵۰
۵-۳ مصرف انرژی ربات سیار چرخ‌دار ۵۱
۵-۴- کمینه انرژی برای حرکت ربات سیار ۵۲
۵-۴-۱- حرکت در امتداد خط مستقیم ۵۲
۵-۴-۲- حرکت در امتداد مسیر منحنی ۵۳
۵-۴-۳- بیان مسئله ۵۳
۵-۵- نتایج شبیه‌سازی ۵۵
۵-۵-۱- شبیه‌سازی بر روی مسیر مستقیم ۵۵
۵-۵-۲- شبیه‌سازی حرکت منحنی‌الخط ربات ۵۷
فصل ششم: پیاده‌سازی‌های عملی ۶۳
۶-۱- مقدمه ۶۴

۶-۲- اجزای داخلی و خارجی ربات رومبا ۶۴
۶-۳- شبیه‌ساز رومبا ۶۵
۶-۳-۱- هدف از شبیه‌ساز ۶۵
۶-۳-۲- فرضیات شبیه‌ساز ۶۵
۶-۴- پیاده‌سازی ۶۶
۶-۴-۱- محدودیت‌های عملی ربات رومبا ۶۶
۶-۴-۲- محیط ناشناخته ۶۶
۶-۴-۲-۱- محیط شبیه‌ساز ۶۶
۶-۴-۲-۲-پیاده‌سازی در محیط واقعی ۶۷
۶-۴-۳- محیط شناخته‌شده ۶۸
۶-۵- محاسبات انرژی مصرفی ربات ۷۰
۶-۵-۱- محاسبه انرژی مصرفی ربات بر روی سطوح صاف و شیب‌دار ۷۰
۶-۵-۲ بازده انرژی ربات برای مسیرهای مختلف ۷۵
۶-۵-۲-۱ شبیه‌سازی ۷۸
۶-۵-۲-۲- محاسبه بازده انرژی در روش مستطیلی ۷۹
فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۱
۷-۱- نتیجه‌گیری ۸۲
۷-۲- پیشنهادات ۸۴
پیوست الف ۸۵
پیوست ب ۹۵
مراجع: ۱۰۶

فهرست جدول‌ها

جدول۴-۱: عبور منحنی از درون موانع و افزایش هزینه آن در مقایسه با مسیر مماس بر مانع ۳۸

جدول۲-۲: مشخصات سیستم ۴۰

جدول۴-۳: تأثیر افزایش نسل‌ها در پاسخ ۴۱

جدول۴-۴: نتایج مسیر ربات بدون مانع ۴۲

جدول۴-۵: نتایج مسیر ربات با یک مانع ۴۲

جدول۴-۶: مقایسه الگوریتم‌های تکاملی با تعداد تکرار ۱۰۰ ..... ۴۶

جدول۴-۷:مقایسه الگوریتم‌های تکاملی با تعداد تکرار ۵۰ ..... ۴۶

جدول ۵-۱: انرژی مصرفی ربات برای t_f و x_f مختلف ۵۶

جدول ۵-۲: انرژی مصرفی ربات برای t_f مختلف با سه مانع ۵۸

جدول ۵-۳: انرژی مصرفی ربات برای مسیرهای مختلف ۵۹

جدول ۵-۴: طول مسیر حرکت با الگوریتم‌های متنوع ۵۹

جدول ۶-۱: پارامترهای ربات سیار ۷۰

جدول الف-۱: مقایسه الگوریتم‌های تکاملی ۹۱

فهرست شکل ها

شکل۲-۱: سیستم مختصات ربات ۱۲

شکل۲-۲: ساختار ربات سیار ۱۴

شکل۲-۳: قیود غیرهولونومیک ربات سیار ۱۵

شکل۲-۴: مؤلفه سرعت ربات ۱۷

شکل۳-۱: محدودیت‌های میدان پتانسیل مصنوعی ۲۷

شکل۳-۲: تابع پتانسیل جاذبه ۲۹

شکل۳-۳: میدان پتانسیل جاذبه ۲۹

شکل۳-۴: مسیر حرکت ربات با استفاده از الگوریتم میدان پتانسیل بهبود داده شده با یک مانع ۳۱

شکل۳-۵: مسیر حرکت ربات با استفاده از الگوریتم میدان پتانسیل بهبود داده شده ۳۲

شکل۳-۶: مسیر حرکت ربات با استفاده از الگوریتم میدان پتانسیل سنتی ۳۳

شکل۳-۷: قرار گرفتن ربات در کمینه محلی ۳۳

شکل۴-۱: منحنی درون مانع نزدیک‌ترین حالت به مرکز ۳۷

شکل۴-۲: منحنی درون مانع دور از مرکز ۳۷

شکل۴-۳: منحنی خارج از مانع و تقریباً مماس به مرز آن ۳۸

شکل۴-۴: ۲۰۰ نسل با طول مسیر ۱۴.۹ ..... ۴۱

شکل۴-۵: ۱۰۰ نسل با طول مسیر ۱۵.۲۳ ..... ۴۱

شکل۴-۶: مسیر ربات خالی از مانع ۴۱

شکل۴-۷: مسیر ربات با یک مانع ۴۲

شکل۴-۸: مسیر ربات با هفت مانع ۴۳

شکل۴-۹: مقایسه مسیر با هفت مانع براساس تابع هزینه ۴۳

شکل۴-۱۰: مقایسه مسیر با هفت مانع براساس انحراف از معیار ۴۳
شکل۴-۱۱: مسیر ربات با سه مانع ۴۴
شکل۴-۱۲: مقایسه مسیر با سه مانع براساس تابع هزینه ۴۴
شکل۴-۱۳: مقایسه مسیر با سه مانع براساس انحراف از معیار ۴۴
شکل۴-۱۴: مسیر ربات با چهار مانع ۴۵
شکل۴-۱۵: مقایسه مسیر با چهار مانع براساس تابع هزینه ۴۵
شکل۴-۱۶: مقایسه مسیر با چهار مانع براساس انحراف از معیار ۴۵
شکل۴-۱۷: مسیر خروجی BA ۴۷
شکل۴-۱۸: مسیر خروجی GA ۴۷
شکل۴-۱۹: مسیر خروجی ICA ۴۷
شکل۴-۲۰: مسیر خروجی PSO ۴۷
شکل۴-۲۱: مراحل مسیریابی با الگوریتم‌های تکاملی ۴۸
شکل۵-۱: بلوک دیاگرام دینامیک ربات سیار چرخ‌دار ۵۱
شکل۵-۲: منحنی سرعت برای $\gamma = \tau_v/t_f$ متنوع ۵۵
شکل۵-۳: منحنی سرعت برای زمان‌ها و مسافت‌های متنوع ۵۶
شکل۵-۴: شبیه‌سازی برای $x_f = 5m$ و $t_f = 10s$ ۵۷
شکل۵-۵: مسیر حرکت ربات با سه مانع ۵۸
شکل۵-۶: منحنی سرعت برای زمان‌های مختلف ۵۸
شکل۵-۷: حرکت ربات در مسیرهای متنوع ۵۹
شکل۵-۸: منحنی سرعت برای مسیرهای متنوع ۵۹
شکل۵-۹: مسیر حرکت ربات با الگوریتم‌های متنوع ۵۹

شکل۵-۱۰: مسیر حرکت بات با یک مانع ۶۰
شکل۵-۱۱: منحنی سرعت ۶۰
شکل۵-۱۲: ورودی‌های کنترلی موتور راست و چپ ۶۰
شکل۵-۱۳: جریان آرمیچر چرخ‌های راست و چپ ۶۱
شکل۵-۱۴: گشتاور بهینه وارد بر چرخ راست و چپ ۶۱
شکل۵-۱۵: مسیر حرکت ربات با سه مانع ۶۱
شکل۵-۱۶: منحنی سرعت برای دو مسیر A و B ۶۲
شکل۵-۱۷: گشتاور بهینه وارد بر چرخ راست و چپ برای مسیر A ۶۲
شکل۵-۱۸: گشتاور بهینه وارد بر چرخ راست و چپ برای مسیر B ۶۲
شکل۶-۱: نمایش دیاگرام داخلی رومبا ۶۴
شکل۶-۲: حرکت ربات در محیط شبیه‌ساز با سه مانع ۶۷
شکل۶-۳: مسیر حرکت ربات در محیط شبیه‌ساز ۶۷
شکل۶-۴: حرکت ربات در محیط واقعی با فیدبک گرفتن از حسگرها ۶۷
شکل۶-۵: مراحل حرکت ربات رومبا با فیدبک گرفتن از سنسورها در محیط واقعی ۶۸
شکل۶-۶: مسیر حرکت ربات در محیط شبیه‌ساز ۶۹
شکل۶-۷: رگرسیون خطی ۶۹
شکل۶-۸: مسیر حرکت ربات در محیط واقعی ۶۹
شکل۶-۹: پنل کنترلی رومبا در محیط سی‌شارپ ۷۰
شکل۶-۱۰: پروفیل سرعت اعمالی به ربات ۷۱
شکل۶-۱۱: جریان مصرفی باتری در دو حالت شبیه‌سازی و تجربی ۷۱
شکل۶-۱۲: انرژی مصرف‌شده باتری در دو حالت شبیه‌سازی و تجربی ۷۱

شکل۶-۱۳: حرکت ربات روی سطح شیب‌دار در محیط واقعی ۷۲
شکل۶-۱۴: پروفیل سرعت اعمالی به ربات روی سطح شیب‌دار با $t_f = 4sec$ و $x_f = 1m$ ۷۲
شکل۶-۱۵: جریان مصرفی باتری ربات روی سطح شیب‌دار با زوایای متنوع ۷۲
شکل۶-۱۶: انرژی مصرف‌شده باتری ربات روی سطح شیب‌دار با زوایای متنوع ۷۳
شکل۶-۱۷: پروفیل سرعت اعمالی به ربات بر روی سطح شیب‌دار با $t_f = 6sec$ و $x_f = 1m$ ۷۳
شکل۶-۱۸: جریان مصرفی باتری ربات بر روی سطح شیب‌دار با زوایای متنوع ۷۳
شکل۶-۱۹: انرژی مصرف‌شده باتری ربات روی سطح شیب‌دار با زوایای متنوع ۷۴
شکل۶-۲۰: حرکت ربات روی سطح شیب‌دار در محیط واقعی ۷۴
شکل۶-۲۱: جریان مصرفی باتری ربات در راستای سطح شیب‌دار ۷۴
شکل۶-۲۲: انرژی مصرف‌شده باتری ربات در راستای سطح شیب‌دار ۷۴
شکل۶-۲۳: توان برحسب سرعت ۷۶
شکل۶-۲۴: نواحی پوشش داده شده ۷۷
شکل۶-۲۵: بازدهی انرژی برحسب ناحیه تحت پوشش ۷۸
شکل۶-۲۶: بازدهی انرژی برحسب سرعت ربات ۷۹
شکل۶-۲۷: بازدهی انرژی برحسب ارتفاع در روش اسکن خطوط ۷۹
شکل۶-۲۸: نمودار توان مصرفی ربات درحرکت مستطیلی ۸۰
شکل الف-۱: مراحل الگوریتم ازدحام ذرات ۹۲
شکل الف-۲: مراحل الگوریتم ژنتیک ۹۲
شکل الف-۳: مراحل الگوریتم رقابت استعماری ۹۳
شکل الف-۴: مراحل الگوریتم زنبور عسل ۹۴
شکل ب-۱: نمایش سنسور دیوار ۹۸
شکل ب-۲: محیط سی‌شارپ ۹۹

شکل ب-۳: تنظیمات مربوط به ارتباط سریال ۹۹
شکل‌ب-۴: کدهای اعمالی به ربات ۱۰۰
شکل‌ب-۵: بسته‌های اطلاعاتی سنسور رومبا ۱۰۴

فهرست علائم

q	مختصات ربات	K_b	ثابت برگشتی موتور
θ	زاویه دوران	K_t	ضریب گشتاور موتور
w	سرعت زاویه‌ای ربات	n_g	نسبت چرخ‌دنده
v	سرعت انتقالی ربات	I_a	جریان آرمیچر
R	ماتریس دوران	u	ورودی کنترل
r	شعاع چرخ	J	ماتریس اینرسی موتور
a	فاصله مرکز جرم ربات تا چرخ‌ها	F_v	ضریب اصطکاک ویسکوز موتور
b	فاصله هر چرخ تا مرکز ربات	U	تابع پتانسیل
m	جرم ربات	F	نیرو پتانسیل
M	ماتریس اینرسی	ρ_g	فاصله ربات تا هدف
V	ماتریس مرتبط با شتاب کوریولیس	W	تابع جریمه
F	ماتریس اصطکاک سطح	C	تابع هزینه
G	ماتریس جاذبه	r_{ob}	شعاع مانع
B	ماتریس انتقال سرعت	R_{dis}	فاصله هر نقطه از مرکز مانع
τ	گشتاور ورودی	E_W	انرژی کل مصرف‌شده باتری ربات
A	ماتریس قیود	E_R	انرژی تلف‌شده در مقاومت آرمیچر
λ	بردار نیرو مرتبط با قیود	E_K	انرژی جنبشی ذخیره‌شده در ربات
I	اینرسی ربات	p	توان
R_a	مقاومت آرمیچر		

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

رباتیک علمی است که باهدف راحتی انسان و افزایش وقت مفید او به وجود آمده است. دنیای ربات تلفیقی از الکترونیک، مکانیک، نرم‌افزار و سخت‌افزار هست که روزبه‌روز در حال گسترش و تکامل است. یکی از مسائل مشترک در کاربردهای رباتیک جابجایی ربات است. زمانی که ربات می‌خواهد از یک نقطه به نقطه دیگری حرکت کند، ملاحظات مختلفی ازجمله عدم برخورد با اجسام دیگر و نیز صرف انرژی کمتر اهمیت دارد.

یک ربات سیار[۱] باید قادر به انتخاب مسیر به‌گونه‌ای باشد که با حرکت از یک نقطه مشخص شروع و به سمت نقطه معین و معلوم هدف حرکت کرده و با موانع موجود در محیط برخورد نکند. به‌عبارت‌دیگر در این فرآیند سعی می‌کند پاسخ این سؤال را بیابد که چگونه می‌تواند با ایمنی کامل به هدف برسد؛ پس در طراحی مسیر مسئله اساسی یافتن یک حرکت ایمن و انجام‌پذیر برای رسیدن به هدف با در نظر گرفتن ملاحظات و قیود خاص است.

در یک مسئله رباتیک، بسته به عملیاتی که ربات موظف به انجام آن است کمیت‌ها و پارامترهای مختلفی بایستی مدنظر قرار گیرد. تعدادی از این کمیت‌های مهم که در ساخت نقشه بایستی مورد توجه قرار گیرند؛ عبارت است از: انرژی مصرف‌شده، مسافت طی شده و کیفیت نقشه تولید شده است. در بعضی از الگوریتم‌ها ممکن است هدف طی کردن کوتاه‌ترین مسیر و انجام عملیات مربوطه باشد و در بعضی دیگر هدف طی کردن مسیرهایی توسط ربات که انرژی مصرفی ربات در آن مسیرها به حداقل برسد. ربات‌های سیار و ماشین‌های هدایت شونده‌ی خودکار[۲] در کارخانه‌ها برای کارهای مختلف ازجمله انتقال مواد مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ماشین‌ها برای حرکت و ناوبری[۳] نیاز به طرح‌ریزی مسیر[۴] و حرکت[۵] دارند. طرح‌ریزی و مسیریابی برای ربات سیار در یک محیط دوبعدی که مشخصات موانع موجود برای

---

[1] - Mobile Robot
[2] - Automated Guide Veichle
[3] - Navigation
[4] - Path Planning
[5] - Motion Planning

آن، معلوم است بدین‌صورت تعریف می‌شود که با فرض موقعیت یا وضعیت‌های اولیه و همچنین وضعیت نهایی برای سیستم ربات، هدف این است که مشخص شود آیا یک مسیر پیوسته بدون برخورد با موانع برای سیستم ربات از وضعیت اولیه به وضعیت نهایی وجود دارد؟ اگر وجود دارد، چنین حرکتی طرح-ریزی شود. این مسئله که به‌عنوان مسیریابی استاندارد شناخته شده است، می‌تواند به روش‌ها و حالت‌های دیگری نیز تعمیم یابد، برای مثال اگر مشخصات محیط کاملاً برای سیستم ربات شناخته‌شده نباشد، در این حالت تولید مسیر به مرور زمان و با در نظر گرفتن اطلاعات از محیط و بروز درآوردن دینامیک مدل کلی (جهانی[1])، بهنگام[2] می‌شود[۱]. مسئله‌ی جالب دیگر بسط و توسعه مسئله مسیریابی استاندارد به حالتی است که محیط شامل موانع متحرک شناخته‌شده و یا قابل پیش‌بینی باشد [۱ ، ۲].

مسیریابی برای ربات متحرک به دو حالت تقسیم می‌گردد. یک حالت مسیریابی جهانی است که بر پایه اطلاعات کامل اولیه از محیط می‌باشد. حالت دیگر مسیریابی محلی[3] است که بر پایه اطلاعات حسگرهای گرفته‌شده از محیط است؛ به‌طوری‌که محل و شکل موانع، ناشناخته است. ناوبری ربات سیار که بر پایه این نوع مسیریابی انجام می‌گیرد، ناوبری به شکل برخط (محلی) نام‌گرفته است. هرکدام از شکل‌های فوق ناوبری ربات سیار دارای معایب و محاسنی است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۱-۲- مسیریابی به روش برون‌خط[4] و در حالت جهانی برای ربات سیار

زمانی که مشخصات محیط برای ربات سیار خودکار کاملاً شناخته‌شده باشد و محیط یک وضعیت ساکن و مشخص داشته باشد، می‌توان به‌صورت برون‌خط به ایجاد و تولید مسیر حرکت برای ربات سیار پرداخت. این حالت از مسیریابی را مسیریابی جهانی نامیده‌اند. در این حالت به سبب مشخص بودن کل محیط می‌توان یک مسیر بهینه از نقطه مبدا به نقطه‌ی مقصد را پیدا نمود که شامل محدودیت‌هایی نیز باشد. در ادامه به بررسی برخی از روش‌های انجام شده در حالت برون‌خط پرداخته می‌شود.

---

[1] - Global
[2] - Update
[3] - Local
[4] - Off_Line

۱-۲-۱- روش میدان پتانسیل[1]

در این شیوه، تابع پتانسیل در فضای آزاد به‌صورت جمع پتانسیل‌های جاذب که ربات را به سمت موقعیت هدف می‌رانند و پتانسیل‌های دافع که آن را از موانع دور می‌کنند، تعریف می‌شوند و در هر تکرار، نیرویی مصنوعی که توسط تابع پتانسیل در موقعیت فعلی القا می‌شود، به‌عنوان جهت مناسب حرکت در نظر گرفته می‌شود. از مزیت‌های روش پتانسیل قابلیت تعمیم آن در فضاهای با ابعاد بالاتر است، اما امکان افتادن در کمینه محلی از نواقص آن است. امروزه از این روش با ترکیب روش‌های دیگر استفاده می‌شود. مثلاً مقالات [۳ ، ۴] ترکیبی از دو روش میدان پتانسیل و یادگیری تقویتی [2]را برای فرار از قرار گرفتن در کمینه محلی استفاده می‌کنند. روش میدان پتانسیل بهبود داده شده می‌تواند این مشکل را برطرف کند.

۱-۲-۲- مسیریابی از طریق برنامه‌ریزی پویا[3]

روش تغییراتی یا به عبارتی روشی که شامل رشد یک مسیر اولیه تا حد امکان ممکن و بدون برخورد با موانع برای مسیریابی است، توسط فوئرباخ استفاده شده است [۵]. این روش از استاندارد محاسباتی بر پایه گرادیان گرفته شده که در هر بار تکرار مسیر جاری به‌وسیله‌ی جستجوی برنامه‌ریزی پویای کلاسیک استفاده شده، درحالی‌که تا حد امکان سعی می‌شود از رشد نمایی حافظه جلوگیری شود.

در اینجا به جزئیات این الگوریتم اشاره نمی‌شود ولی به‌طورکلی در این روش یک مسیر اولیه تولید شده و با در نظر گرفتن تابع هزینه و نقاط برخورد مسیر با موانع، سعی در رشد و بهبود این مسیر اولیه است.

۱-۲-۳- الگوریتم‌های تکاملی[4] در مسیریابی

برای پایین آوردن حجم محاسبات در روش برنامه‌ریزی پویا، می‌توان از الگوریتم‌های تکاملی استفاده کرد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که حجم محاسبات به مراتب کمتر شده و مسیر به‌دست آمده نیز

---

[1] - Potential Field
[2] - Reinforcement Learning
[3] - Dynamic Programing
[4] - Evolutionary