چکیده

در این پروژه هدایت حرکت ربات سیار در محیط پویا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ابتدا مشاهدات ثابت و متحرک توسط مفهوم نقض فضای آزاد از یکدیگر تمیز داده می‌شوند. ربات برای حرکت در محیط می‌تواند از دو روش معرفی شده در این پایان نامه با عناوین سد پتانسیلی و تنظیم جهت توسط نیروی برایند بهره بگیرد. روش اول به معرفی مقادیر مجازی قطعیت برای نقشه خطر می‌پردازد که این مقادیر توسط میدان پتانسیلی برای هدایت ربات در محیط پویا مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش دوم نیروی دافعی برای جسم متحرک تعریف می‌شود تا نیروی برایند نهایی به نحوی باشد که ربات به آن جسم برخورد نکند و به هدف نزدیک شود با توجه به اینکه فرض شده است که مسیر حرکتی اجسام متحرک نامعین است، این مسیر توسط فیلتر کالمن پیش بینی می‌شوند. نتایج این پیش بینی برای تولید نقشه خطر و استفاده برای هدایت ربات در محیط به کار می‌رود. در نهایت بر اساس تئوری حداکثر- حداقل یک تابع هزینه مناسب جهت مقایسه کمی روش‌های ارایه شده معرفی می‌گردد. نتایج پیاده سازی‌های انجام شده حاکی از عملکرد مطلوب این دو روش برای هدایت ربات در محیط پویا می‌باشند.

کلید واژه : SLAM، مانع متحرک، میدان پتانسیلی، کالمن فیلتر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ۱۰
فهرست شکل‌ها ۱۱

مقدمه ۱

فصل ۱- تعریف مسئله و سخت افزار موجود ۳
۱-۱- مقدمه ۳
۱-۲- تعریف مسئله ۴
۱-۳- سخت افزارهای مورد استفاده ۵
۱-۳-۱- مقدمه ۵
۱-۳-۲- معرفی ربات ۶
۱-۳-۳- محدوده یاب لیزری ۷
۱-۳-۴- انکودر ۸
۱-۴- اودومتری ۸
۱-۴-۱- مقدمه ۸
۱-۴-۲- روش نزدیکترین نقطه مکرر (ICP) ۹
۱-۴-۳- فاصله یابی بر اساس انکودر ۱۱
۱-۴-۳-۱- فرمول بندی کالیبراسیون ۱۲
۱-۴-۳-۲- داده گیری ۱۴
۱-۴-۳-۳- تخمین حداقل مربعات خطا ۱۵
۱-۴-۳-۴- ارائه نتایج تخمین ۱۶
۱-۴-۳-۵- مکان یابی بر اساس انکودر ۲۰
۱-۴-۴- نتیجه گیری ۲۲

فصل ۲- توضیح Grid SLAM و الگوریتم‌های مورد استفاده مرتبط ۲۳
۲-۱- مقدمه ۲۳
۲-۲- توضیح مسئله مکان یابی و تولید نقشه همزمان ۲۳
۲-۲-۱- مفهوم حالت ۲۴
۲-۲-۲- مدل احتمالاتی مشاهده و گذار ۲۴
۲-۲-۳- تابع احتمال پیشین، شوایی و پسین ۲۵
۲-۲-۴- باور و انتشار باور از طریق فیلتر بازگشتی بیز ۲۶
۲-۲-۵- مدل احتمالاتی حرکت ربات ۲۷
۲-۲-۵-۱- مدل حرکت مسافتی ۲۸
۲-۲-۵-۲- نمونه برداری از مدل حرکت مسافتی ۲۹

۲-۲-۵-۳- مدل حرکتی سرعتی ۳۱
۲-۲-۵-۴- نمونه برداری از مدل حرکتی سرعتی ۳۲
۲-۲-۶- مدل احتمالاتی مشاهده ۳۳
۲-۲-۷- فیلتر بیز دودویی ۳۴
۲-۲-۸- معکوس معادله مشاهده ۳۶
۲-۳- الگوریتم Grid SLAM ۳۷
۲-۴- شناسایی اجسام متحرک ۴۰
۲-۴-۱- مقدمه ۴۰
۲-۴-۲- شناسایی اجسام متحرک با مفهوم نقض نقاط آزاد ۴۰
۲-۴-۳- نتایج عملی شناسایی اجسام متحرک ۴۳
فصل ۳- استفاده از میدان پتانسیلی برای هدایت ربات در محیط ۴۵
۳-۱- مقدمه ۴۵
۳-۲- روش میدان پتانسیلی ۴۶
۳-۳- مشکلات عملی روش میدان پتانسیلی ۵۰
۳-۳-۱- قرار گرفتن در مینیمم محلی ۵۰
۳-۳-۲- حرکت به عقب در صورت حضور اجسام با مقادیر قطعیت بالا ۵۱
۳-۳-۳- نوسان در راهروهای باریک ۵۲
فصل ۴- هدایت ربات در محیط پویا ۵۶
۴-۱- مقدمه ۵۶
۴-۲- تعریف فیلتر کالمن برای هر جسم متحرک و ربات ۵۷
۴-۲-۱- تعریف فیلتر کالمن ۵۷
۴-۲-۲- معادلات حرکتی جسم متحرک ۵۸
۴-۲-۳- شبیه سازی و پیش بینی موقعیت حرکت جسم متحرک ۶۰
۴-۲-۴- پیش بینی حرکت ربات ۶۳
۴-۳- ایده پیشنهادی اول: استفاده از میدان پتانسیل تعریف شده در محیط ایستا و تولید سد پتانسیلی ۶۳
۴-۳-۱- پیش‌بینی حرکت ربات و جسم متحرک، امکان سنجی برخورد ۶۳
۴-۳-۲- تعریف نقشه خطر ۶۶
۴-۳-۳- نتایج عملی تولید نقشه خطر و استفاده از آن در هدایت ربات ۶۸
۴-۴- ایده دوم: استفاده از جهت حرکت جسم متحرک و تنظیم جهت نیروی برآیند ۷۲
۴-۴-۱- پیش بینی حرکت ربات و جسم متحرک، امکان سنجی برخورد ۷۳
۴-۴-۲- اصلاح جهت حرکتی ۷۳
۴-۴-۳- نتایج عملی تنظیم جهت حرکتی ربات با توجه به سرعت جسم متحرک ۷۵
۴-۵- نتیجه گیری ۷۸

فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۶
ضمیمه أ -اطلاعات فاصله یاب لیزری مدل URG-08LX ۸۹
ضمیمه ب -اطلاعات انکودر E40S ۹۷
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۹۸
فهرست اختصار ها ۹۹
فهرست مراجع ۱۰۰

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ مشخصات فیزیکی ربات Melon ۶
جدول ۱-۲ نتایج حاصل از تخمین رابطه چرخ راست توسط اندازه گیری خارجی ۱۶
جدول ۱-۳ نتایج حاصل از تخمین رابطه چرخ راست توسط الگویتم ICP ۱۶
جدول ۱-۴ نتایج حاصل از تخمین رابطه چرخ چپ توسط اندازه گیری خارجی ۱۸
جدول ۱-۵ نتایج حاصل از تخمین رابطه چرخ چپ توسط الگویتم ICP ۱۸
جدول ۱-۶ فرمول‌های نهایی برای تعیین جابجایی چرخ‌های راست و چپ بر اساس تعداد پالس‌های انکودر ۱۹
جدول ۳-۱ مقادیر در نظر گرفته شده برای مینیمم و ماکزیمم قطعیت ۵۲
جدول ۳-۲ پارامترهای تعیین شده برای فیلتر کردن سرعت زاویه‌ای توسط فیلتر کالمن ۵۵
جدول ۴-۱ مقادیر انتخاب شده برای واریانس نویز اندازه گیری و فرایند در فیلتر کالمن ۶۱
جدول ۴-۲ معیار RMSE برای موقعیت پیش بینی شده توسط فیلتر کالمن ۶۳
جدول ۴-۳ طول مسیر پیموده شده و مدت زمان لازم برای حرکت ربات در محیط ایستا با وجود هدف در فاصله ۲ متری ۷۰
جدول ۴-۴ طول مسیر پیموده شده و مدت زمان لازم جهت هدایت ربات در محیط پویا با تولید سد پتانسیلی ۷۲
جدول ۴-۵ طول مسیر پیموده شده و مدت زمان لازم جهت هدایت ربات در محیط پویا با تنظیم جهت نیروی برایند ۷۷
جدول ۴-۶ وزن‌های انتخاب شده برای تابع هزینه ۸۰
جدول ۴-۷مقدار تابع هزینه برای محیط ایستا و متحرک ۸۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ تصویر ربات Melon ۶
شکل ۱-۲ نمونه ای از یک محدوده یاب لیزری ۷
شکل ۱-۳ اسکن لیزر از محیط ۹
شکل ۱-۴ اعمال چرخش بر روی اسکن اول ۱۱
شکل ۱-۵ انتقال اسکن اول بر روی اسکن دوم ۱۱
شکل ۱-۶ نمودار خروجی واقعی و تخمین زده شده بر حسب تعداد داده ها با توجه به رابطه تعداد پالس های انکودر راست و جابجایی در حالت اول با داده‌های اندازه گیری شده توسط کاربر ۱۷
شکل ۱-۷ نمودار خروجی واقعی و تخمین زده شده بر حسب تعداد داده ها با توجه به رابطه تعداد پالسهای انکودر راست و جابجایی در حالت اول بدست آمده توسط لیزر ۱۷
شکل ۱-۸ نمودار خروجی واقعی و تخمین زده شده بر حسب تعداد داده ها با توجه به رابطه تعداد پالس های انکودر راست و جابجایی در حالت اول با داده‌های اندازه گیری شده توسط کاربر ۱۸
شکل ۱-۹ نمودار خروجی واقعی و تخمین زده شده بر حسب تعداد داده ها با توجه به رابطه تعداد پالسهای انکودر راست و جابجایی در حالت اول بدست آمده توسط لیزر ۱۹
شکل ۱-۱۰ نمایش میزان جابجایی دو چرخ ۲۰
شکل ۱-۱۱ نمایش موقعیت نسبی مکان‌ها ۲۱
شکل ۲-۱ الگوریتم فیلتر بیز برای محاسبه تکراری باور حالت ۲۷
شکل ۲-۲ الف: موقعیت کنونی ربات. ب : مدل حرکتی ربات. ۲۸
شکل ۲-۳ حالت‌های مختلف احتمال پسین ۲۹
شکل ۲-۴ شبه کد نمونه برداری از مدل حرکتی مسافتی ۳۰
شکل ۲-۵ نمونه برداری از شکل ۲-۳ ..... ۳۰
شکل۲-۶ چرخش ربات درصفحه حول نقطه فرضی $\langle x_c, y_c \rangle$ با شعاع r ۳۱
شکل ۲-۷ شبه کد الگوریتم مدل حرکتی سرعتی ۳۲
شکل ۲-۸ الگوریتم نمونه برداری از مدل حرکتی سرعتی ۳۳
شکل ۲-۹ حالت‌های مختلف احتمال موخر ۳۳
شکل ۲-۱۰ نمونه برداری از شکل ۲-۹ ..... ۳۳
شکل ۲-۱۱ الگوریتم مشاهده معکوس ۳۶
شکل ۲-۱۲ ناحیه اختصاص یافته به هر پرتو لیزر ۳۶
شکل ۲-۱۳ خلاصه الگوریتم Grid SLAM ۳۸
شکل ۲-۱۴ نمونه برداری مجدد از نمونه‌ها بر اساس وزن اهمیت آنها ۳۹
شکل ۲-۱۵ الگوریتم دسته بندی مشاهدات به ثابت و متحرک ۴۲

شکل ۲-۱۶ موقعیت فریم ربات در فریم جهانی ۴۲
شکل ۲-۱۷ شناسایی جسم متحرک و حرکت آن در چندین گام ۴۴
شکل ۳-۱ نواحی تعریف شده برای مانع ۴۷
شکل ۳-۲ تعریف مینیمم فاصله بین ربات و مانع در یک قطاع مشخص و فاصله تاثیرگذار ۵۰
شکل ۳-۳ حرکت ربات به سمت عقب به دلیل بالا بودن مقدار قطعیت موانع ۵۱
شکل ۳-۴ سرعت زاویه‌ای تولید شده توسط میدان پتانسیلی در حرکت مستقیم رو به جلو ۵۳
شکل ۳-۵ فیلتر نمودن سرعت زاویه‌ای توسط فیلتر کالمن ۵۴
شکل ۴-۱ نمودار موقعیت واقعی و پیش بینی شده یک جسم متحرک در راستای x ۶۲
شکل ۴-۲ نمودار موقعیت واقعی و پیش بینی شده یک جسم متحرک در راستای y ۶۲
شکل ۴-۳ الگوریتم تعیین گام برخورد بین ربات و جسم متحرک ۶۴
شکل ۴-۴ نمایش ربات، مانع متحرک و تعریف مقادیر قطعیت بر اساس گام برخورد ۶۷
شکل ۴-۵ نحوه حرکت ربات و تولید نقشه در محیط ایستا توسط الگوریتم میدان پتانسیلی ۶۹
شکل ۴-۶ مسیر پیموده شده توسط ربات در محیط ایستا با میدان پتانسیلی ۷۰
شکل ۴-۷ نحوه حرکت ربات و جسم متحرک در محیط پویا به همراه نقشه تولید شده با روش سد پتانسیلی ۷۱
شکل ۴-۸ مسیر پیموده شده توسط ربات در محیط پویا با تولید سد پتانسیلی در صورت امکان برخورد ۷۲
شکل ۴-۹ الگوریتم به کار رفته برای امکان سنجی برخورد ۷۳
شکل ۴-۱۰ معرفی فریم مرجع و فریم تعریف شده بر روی ربات. ۷۴
شکل ۴-۱۱ تعریف نیروی تنظیم کننده و نیروی نهایی جهت حرکت در محیط پویا ۷۵
شکل ۴-۱۲ نحوه حرکت ربات، جسم متحرک درمحیط پویا و نتیجه تولید نقشه با روش تنظیم جهت حرکتی ۷۶
شکل ۴-۱۳ مسیر پیموده شده توسط ربات در محیط پویا با تنظیم جهت نیروی برایند در صورت امکان برخورد ۷۷
۴-۱۴ نمایش فاصله عمودی تا مسیر مرجع ۷۹
شکل ۴-۱۵ نمودار مقدار مینیمم تابع هزینه بر حسب $\boldsymbol{\lambda}$ ۸۰
شکل ۴-۱۶ نمودار خطای کمینه بر اساس متغیر $\boldsymbol{\lambda}$ برای معیار اول و دوم ۸۲
شکل ۴-۱۷ نمودار خطای کمینه بر اساس متغیر $\boldsymbol{\lambda}$ برای معیار سوم و چهارم ۸۳
شکل ۴-۱۸ نقاط پرتو مربوط به معیار اول و دوم ۸۳
شکل ۴-۱۹ نمایش تابع هزینه معیار اول و دوم بر اساس λ برابر با ۰.۵۵ ..... ۸۴
شکل ۴-۲۰ نقاط پرتو مربوط به معیار سوم و چهارم ۸۵
شکل ۴-۲۱ نمایش تابع هزینه معیار سوم و چهارم بر اساس λ برابر با ۰.۳ ..... ۸۵

مقدمه

علم رباتیک علمی گسترده است که می‌توان هدف نهایی از آن را کمک به انسان نام برد. اهمیت این علم زمانی آشکارتر می‌گردد که انجام تعدادی از کارها برای انسان سخت، طاقت فرسا، خطرناک و یا خارج از توان انسان باشد. دسته‌ای دیگر از کارها وجود دارند که انسان اگرچه قادر به انجام آن‌ها است، نیاز به دقت طولانی در طول زمان دارد. در این حالت ممکن است انسان دچار بی‌دقتی یا خستگی شود و نتیجه کار مطلوب نباشد. همچنین در بسیاری از موارد امکان انجام کار برای انسان وجود ندارد. برای مثال حرکت در میان ویرانه‌های ساختمان در اثر زلزله و یا حرکت بر سطح کرات دیگر. با توجه به موارد فوق پیداست که طراحی ربات و برنامه ریزی آن برای منظوری خاص از اهمیت بالایی برخوردار است.

لزوم بکارگیری ربات‌ها در جوامع انسانی سبب می‌شود که زمینه‌ای جدید و بحث برانگیز در دنیای رباتیک ایجاد گردد. به طور کلی یک ربات باید قادر باشد هنگام حرکت در یک محیط انسانی به نحو صحیحی برنامه ریزی و حرکت کند. محیط شهری دارای اجسام متحرکی مانند ماشین، موتور، انسان و غیره است. انتخاب روش حرکتی صحیح بسته به نوع محیط و اجسامی که امکان برخورد با آن‌ها وجود دارد، موضوع تحقیق بسیاری از پژوهشگران شده است.

در میان پژوهشگران عده‌ای بر روی موضوع شناسایی اجسام متحرک متمرکز شده‌اند. از جمله این موارد می‌توان به مراجع[۱]، [۲] و [۳] کرد که در آن‌ها به صورت خاص بر موضوع شناسایی جسم متحرک توسط لیزر اشاره می‌شود. مراجع ذکر شده عمدتا از اختلاف فاصله‌ها بهره می‌گیرند. این در حالی است که در مراجع [۴] و [۵] از روش‌های احتمالاتی نظیر EM[1] استفاده می‌گردد. دسته‌ای دیگر از پژوهش‌ها بر روی نحوه هدایت ربات در محیط پویا تمرکز کرده و روش‌هایی جهت حرکت در محیط، پیش بینی و اعمال فرمان مناسب ارایه می‌دهند. این دسته از تحقیقات دارای تنوع بسیار زیادی هستند. تعدادی از تحقیقات را می‌توان در مراجع [۶]، [۷]و [۸] یافت. در [6] نمونه‌برداری از فضای کنترل مطرح مطرح می‌شود به نحوی که شرط‌های محیط را نیز ارضا کند. این روش به تولید مسیر به صورت محلی می‌پردازد. در مرجع [۷] ربات بر اساس تئوری فازی به حرکت در محیط می‌پردازد. روش حرکتی پیشنهاد شده، از نقشه شبکه بندی شده استفاده کرده و به همراه آن تجربه ربات را نیز در نظر می‌گیرد. مرجع [8] روش هدایتی برای ربات در محیط ناشناخته مطرح می‌کند. در این مرجع ابتدا شناسایی اجسام متحرک انجام می‌گیرد، سپس با توجه توزیع احتمالاتی خطر در محیط، از الگوریتمی برای تولید مسیر در محیط پویا استفاده می‌شود.

برای مکان یابی و تولید نقشه همزمان در محیط پویا به طور کلی انتظار می‌رود اجسام متحرک در نقشه مدل نشوند و ربات به آنها برخورد نکند. از این رو مسئله با شناسایی جسم متحرک و در نظر گرفتن روش حرکتی مناسب توصیف می‌گردد.

[1] Expectation Maximization (EM)

در این پروژه در ابتدا به تعریف مسئله مورد تحقیق می‌پردازیم و سخت‌افزارهای مورد استفاده را معرفی می‌کنیم. در فصل دوم مفاهیم SLAM و الگوریتم‌های مورد استفاده دیگر در محیط پویا بررسی می‌گردند. فصل سوم به توضیح روش میدان پتانسیلی برای هدایت ربات در محیط ایستا پرداخته می‌شود. فصل چهارم حاصل نوآوری‌های پروژه برای هدایت ربات در محیط پویا می‌باشد و نتایج پیاده سازی‌های عملی در آن دیده می‌شود.

فصل ۱– تعریف مسئله و سخت افزار موجود

۱–۱– مقدمه

یک ربات برای انجام وظیفه‌ای خاص طراحی و برنامه‌ریزی می‌شود. انجام چنین وظیفه‌ای معمولا نیازمند تعیین مسیری برای حرکت ربات از وضعیتی به وضعیت دیگر می‌باشد. به عبارتی حرکت ربات نیازمند آگاهی از نقطه شروع حرکت و نقطه پایانی است تا مطابق با آن به طراحی مسیری با توجه به معیارهای عملکرد بپردازد. از این رو لازم است هم محل قرار گیری ربات نسبت به یک فریم ثابت تعیین گردد و هم اطلاعاتی از محیط دانسته شود تا امکان برخورد با موانع وجود نداشته باشد. از این رو با دو مسئله روبرو هستیم. در مسئله اول نیازمند مکان‌یابی دقیق و در مسئله دوم نیازمند تهیه نقشه هستیم. حال چنانچه نقشه محیط معلوم فرض شود، مکان‌یابی امری آسان است و می‌توان با انتخاب فریم مناسب مکان ربات تعیین گردد. در این حالت ربات با نقشه‌ای که از محیط در دست دارد و تطبیق آن با مشاهده فعلی خود می‌تواند مکان خود را تخمین بزند. در حالتی دیگر اگر مکان ربات نسبت به فریمی خاص به طور دقیق دانسته شود تهیه نقشه نیز به سادگی امکان پذیر است. اما در حالت کلی هیچ کدام از دو حالت فوق معین نیستند و در واقع هر دوی آن‌ها مجهول می‌باشند.

این موضوع به مسئله مکان یابی و تولید همزمان نقشه یا SLAM[1] معروف است. این مسئله برای اولین بار در کنفرانس رباتیک و اتوماسیون سال ۱۹۸۶ در سانفرانسیسکو مطرح گردید. در همین زمان استفاده از روش‌های احتمالاتی در مسائل تخمینی متداول شده بود. تعدادی از محققین تصمیم گرفتند از تئوری‌های تخمین در مسئله مکان‌یابی و تولید نقشه استفاده کنند.

ادامه تحقیقات محققان سبب شد نتایج سودمندی بدست آید. از جمله این نتایج می‌توان به درجه بالای همبستگی[2] بین مکان‌های مختلف در یک نقشه اشاره نمود. در همین زمان عده‌ای از محققان به کارهای اولیه برای هدایت بصری[3] و عده‌ای دیگر با یک حسگر صوتی به استفاده از فیلتر کالمن رو آوردند. [۹]

به عقیده بسیاری از محققان در زمینه رباتیک، حل مسئله SLAM می‌تواند به عنوان زیر بنایی برای تعریف وظایف پیچیده‌تر برای ربات مطرح شود. به عبارتی دیگر، تعریف هر وظیفه‌ای برای ربات در ابتدا نیازمند حل مسئله SLAM می‌باشد. حل این مسئله سبب می‌شود ربات بداند در چه مختصاتی نسبت به یک فریم ثابت قرار گرفته و نقشه محیط چگونه است. بنابراین برای رسیدن به هدف به تولید نقشه بپردازد.

مسئله SLAM از لحاظ تئوری، فرمول بندی شده و کلیت آن قابل حل است. نمونه‌هایی از تلاش‌های اولیه برای حل مسئله SLAM را می‌توان در [۱۰] و [۱۱] یافت. مسئله SLAM به عنوان یک مسئله

[1] Simultaneous Localization And Mapping
[2] Correlation
[3] Visual Navigation

دانشگاهی به طور گسترده مورد تحقیق قرار گرفته است. با توجه به گسترده بودن فضای تحقیقاتی این موضوع و امکان توسعه و بهبود آن تعدادی از تحقیقات متوالی در دانشگاه خواجه نصیر طوسی انجام گرفته است. در [۱۲] مسئله SLAM را در محیط ساختار یافته به کمک لیزر و دوربین در غالب یک پایان نامه ارشد بررسی می‌شود. در مرجع [۱۳] روش‌هایی برای بهبود عملکرد فیلتر کالمن توسعه یافته برای کاربرد در حل مسئله SLAM ارایه شده است.

در [۱۴] که سومین پروژه انجام شده در این زمینه است با استفاده از یک فاصله یاب لیزری نقاطی مناسب برای اکتشاف تعیین می‌گردند. مسئله اصلی در این پروژه این است که محیط مورد اکتشاف ایستا فرض شده است.

ربات Melon اولین رباتی‌است که جهت انجام تحقیقات یاد شده در گروه ارس ساخته شده است. این ربات به عنوان سخت افزار برای انجام پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۲- تعریف مسئله

یکی از اهداف علم رباتیک این است که برخی از امور به صورت خودکار انجام شوند. برای این کار، یک ربات باید قادر به درکی از محیط اطراف خود باشد و قابلیت نسبی تصمیم گیری را داشته باشد. از این رو ربات‌ها باید توسط حسگرهای تعبیه شده به دریافت اطلاعات از محیط بپردازند. براین این منظور ربات در حین حرکت در یک محیط ناشناخته به اکتشاف می‌پردازد و مکان هر جسم را تشخیص می‌دهد. می‌توان گفت که یک ربات نیازمند است از هدف نهایی اطلاع داشته باشد و با توجه به محیط، به نحوی حرکت کند که به موانع موجود در محیط برخورد نکند.

ربات‌ها عموما برای انجام وظایف خاص طراحی می‌شوند. این وظایف بسته به نوع ربات می‌تواند کار در یک کارخانه، زنده‌یابی، هدایت تور و بسیاری از مثال‌های متنوع دیگر باشد. آنچه در اکثر کاربرد ربات‌های گوناگون مشترک است، حضور انسان در فضای کاری آن‌هاست. از این رو ربات‌ها نیاز دارند موانع ثابت و متحرک را از یکدیگر تمیز داده و برای حرکت در محیط روش حرکتی مناسبی را در نظر بگیرد.

بنابراین در گام اول باید موانع متحرک و ثابت از یکدیگر تشخیص داده شوند. موانع ثابت به عنوان محیط در نقشه مدل می‌شوند. در برخورد با موانع متحرک نیازمند دانستن ویژگی‌هایی از آن‌ها هستیم. در پاره‌ای از موارد ماکزیمم سرعت یک جسم معلوم فرض می‌شود و در بعضی موارد دیگر مکان آن‌ها با توجه به زمان[1] معین است. در گام دوم، موقعیت و سرعت هر جسم متحرک توسط فیلتر کالمن تخمین زده شده و اطلاعات آن در گام چهارم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در گام بعد مشاهدات ثابت برای به روز کردن نقشه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در گام آخر با استفاده از اطلاعات موانع متحرک و ثابت، یک روش حرکتی مناسب اتخاذ می‌شود. در این پروژه عمدتا از روش میدان پتانسیلی برای جلوگیری از برخورد با موانع متحرک و ثابت استفاده شده است.

[1] Trajectory

چهار گام مورد استفاده در **Error! Reference source not found.** دیده می‌شود:

شکل ۱-۱ نمودار چهار گام اصلی برای حرکت در محیط پویا

۱-۳- سخت افزارهای مورد استفاده

۱-۳-۱- مقدمه

یکی از راه‌های دسته بندی حل مسئله مکان یابی و تولید نقشه همزمان، طبقه بندی آن‌ها بر اساس حسگرهای مورد استفاده می‌باشد. گستره وسیعی از حسگرها برای این منظور می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. معمول ترین حسگرها برای چنین منظوری محدوه یاب‌ها با استفاده از صوت و لیزر، تکنولوژی Infrared، دوربین ها، حسگرهای لمسی، وسایلی برای dead reckoning مانند انکودر چرخ و حسگر اینرسی، active beacon، جهت یاب و GPS[1] می‌باشند. تمامی این حسگرها دارای خطا هستند که علت عمده آن را می‌توان نویز اندازه‌گیری نام برد. به علاوه اینکه اکثرحسگرها دارای محدودیت رنج می‌باشند. برای مثال، نور و صدا نمی‌توانند در داخل دیوار نفوذ کنند. وجود این محدودیت‌ها سبب می‌شود که ربات در طی تهیه نقشه، در محیط هدایت شود.

بسته به وظیفه‌ای که برای یک ربات تعریف می‌شود، یک یا چند حسگر به داده گیری از محیط می‌پردازند. برای مثال رباتی که وظیفه حرکت در محیط بیرون و داخل را دارد، به صور معمول از لیزر برای محیط درون و دوربین برای محیط بیرون بهره می‌گیرد. اگرچه توقع می‌رود استفاده از چند حسگر دقت را بالا ببرد، ترکیب اطلاعات دو حسگر، فرایند به نسبت دشواری به حساب می‌آید.

[1] General Positioning System

چنانچه هدف حرکت در محیط متحرک باشد، می‌توان از یک یا دو حسگر استفاده نمود. برای مثال در [۱۵] به تنهایی از یک لیزر برای دسته بندی مشاهدات ثابت و متحرک و تعیین میزان حرکت ربات در محیط استفاده شده است. در این روش با فرض اینکه اکثر مشاهدات از اجسام ثابت بدست آمده‌اند، سایر مشاهدات که از اجسام متحرک و نویز ناشی شده‌اند حذف شده و تنها از یک حسگر برای حرکت در محیط استفاده می‌شود. حال آنکه در اکثر موارد از یک انکودر و لیزر برای حرکت در محیط استفاده می‌گردد. در این پروژه نیز بدین طریق عمل شده است. در ادامه هر کدام از حسگرهای استفاده شده به تفصیل توضیح داده می‌شوند.

۱-۳-۲- معرفی ربات

ربات Melon که در این پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد، از دسته ربات‌های شنی دار[1] می‌باشد. تصویر این ربات در شکل ۱-۱ دیده می‌شود. بر روی این ربات دو موتور DC نصب شده است که وظیفه حرکت چرخ‌ها را به عهده دارند. مشخصات کامل فیزیکی این ربات در جدول ۱-۱ دیده می‌شود.

شکل ۱-۱ تصویر ربات Melon

جدول ۱-۱ مشخصات فیزیکی ربات Melon

مشخصات فیزیکی ربات	
طول	۴۵ سانتی متر
عرض	۴۰ سانتی متر
ارتفاع	۳۰ سانتی متر
وزن	۲۵ کیلوگرم

[1] Tracked

شعاع چرخش	۶۰ سانتی متر
فاصله بین دو چرخ	۳۵ سانتی متر
شعاع هر چرخ	۱۰ سانتی متر
ماکزیمم سرعت خطی	۰.۰۸ متر بر ثانیه
ماکزیمم سرعت زاویه‌ای	۰.۱۵ رادیان بر ثانیه

۱-۳-۳- محدوده یاب لیزری

به طور معمول برای مکان یابی و تهیه نقشه از یک محدود یاب استفاده می‌شود. یکی از این محدوده یاب‌ها، محدوده یاب لیزری می‌باشد. لیزر محیط بیرون را اسکن می‌کند و با تطبیق دو اسکن میزان جابجایی و چرخش ربات تعیین می‌گردد. بنابراین این حسگر از اطلاعات محیط برای تعیین جابجایی و چرخش استفاده می‌کند.

دقت این محدوده یاب یک سوم درجه است و شعاع ۲۷۰ درجه‌ای در مقابل خود را اسکن می‌کند. در این صورت خروجی این محدوده یاب یک آرایه ۷۶۸ تایی است که در به ازای هر زاویه، شعاع متناظر نزدیکترین فاصله را ارایه می‌دهد. نمونه‌ای از این فاصله یاب را می‌توان در شکل ۱-۲ مشاهده نمود.

شکل ۱-۲ نمونه ای از یک محدوده یاب لیزری

محدوده یاب لیزری مورد استفاده URG-08LX ساخت شرکت HOKUYO می‌باشد. آنچه در استفاده از لیزرها اهمیت دارد این است که شعاع‌های سنجیده شده توسط لیزر حاوی نویز است. همچنین داده‌های بسیار کوچک و یا نزدیک به ماکزیمم شعاع قابل اندازه گیری قابل اطمینان نیستند و باید حذف گردند. اطلاعات کامل این محدوده یاب را می‌توان در ضمیمه " ا " یافت.

۱-۳-۴- انکودر

انکودرها ابزاری هستند که متناسب با میزان چرخش یک محور، تعداد پالس‌هایی را تولید می‌کنند. به عبارت دیگر یک انکودر میزان چرخش یک محور را به عددی صحیح تبدیل[1] می‌کند. انکودرها کاربرد فراوانی در علم رباتیک دارند. زیرا بر اساس میزان چرخش یک چرخ می‌توان فاصله افقی پیموده شده توسط آن چرخ را بدست آورد. اگرچه انکودرها در مواردی مثل سر خوردن چرخ‌ها ناتوانند، اما به طور کلی ابزاری قدرتمند در تعیین میزان جابجایی به حساب می‌آیند.

بر روی هر چرخ ربات، یک انکودر چرخشی[2] نصب شده است. دو انکودر نصب شده بر روی دو چرخ ربات، میزان چرخش دو چرخ را به صورت تعداد پالس بیان می‌کنند. این تعداد پالس‌ها متناسب با میزان جابجایی افقی دو چرخ می‌باشند که توسط آن‌ها می‌توان میزان جابجایی ربات و جهت گیری آن را تعیین نمود. اطلاعات انکودر E40S ساخت شرکت Autonics در ضمیمه "ب" آمده است.

۱-۴- اودومتری[3]

۱-۴-۱- مقدمه

یک ربات برای حرکت در محیط نیازمند است از موقعیت خود مطلع باشد. برای این منظور میزان جابجایی ربات در هر گام سنجیده شده و بسته به موقعیت قبلی آن، موقعیت فعلی ربات حاصل می‌گردد. اودومتری به مفهوم تعیین میزان جابجایی ربات تعریف می‌گردد. برای اودومتری روش‌های گوناگون بسته به حسگرهای مورد استفاده مطرح می‌گردد. برای مثال چنانچه لیزر در دسترس باشد، از روش‌های ICP[4] و NN[5] برای تعیین میزان جابجایی ربات استفاده می‌گردد. هنگامی که دوربین به عنوان حسگر مورد استفاده قرار بگیرد، روش مکان یابی بصری به کار گرفته می‌شود. الگوریتم این روش‌ها را می‌توان در [۱۶] و [۱۷]یافت.

اما آنچه به طور معمول به عنوان اودومتری ذکر می‌شود، تعیین میزان جابجایی ربات بر اساس تعداد پالس‌های داده شده توسط انکودر می‌باشد. تعیین موقعیت ربات با استفاده از انکودر دارای خطا بوده و این خطا در طول زمان افزایش می‌یابد. به طور معمول از ماتریس کواریانس برای نمایش خطای سیستم استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از چگونگی محاسبه ماتریس کواریانس را می‌توان در [۱۸] و [۱۹] یافت.

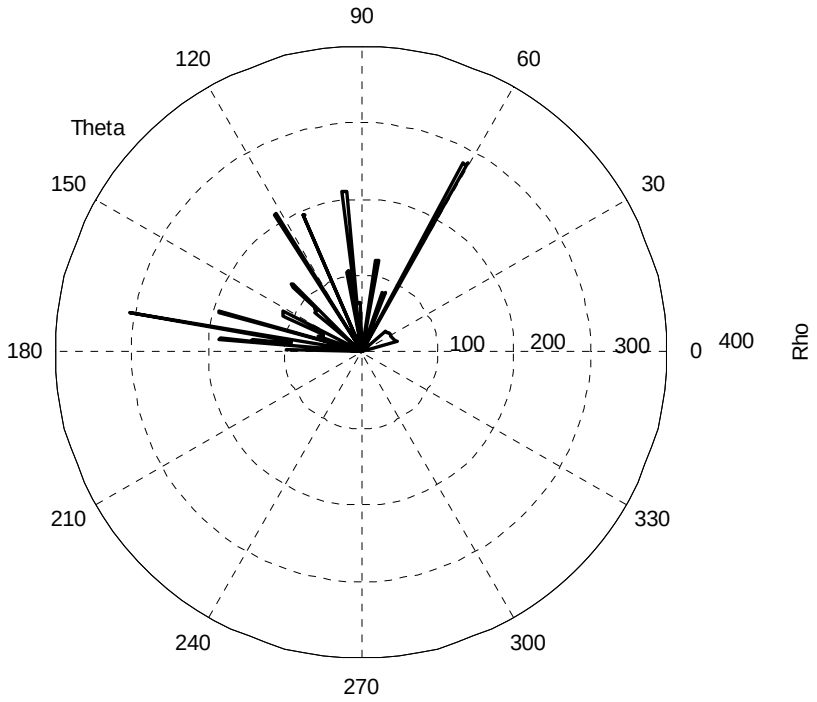
در ادامه ابتدا به توضیح الگوریتم ICP خواهیم پرداخت، سپس روش اودومتری بر اساس انکودر را توضیح می‌دهیم.

---

[1] Encode
[2] Rotary Encoder, Shaft Encoder
[3] Odometry
[4] Iterative Closest Point
[5] Nearest Neighbor

۱-۴-۲- روش نزدیکترین نقطه مکرر(ICP)

محدود یاب لیزری یکی از حسگرهایی است که برای کاوش در محیط سرپوشیده به کار می‌رود. این حسگر تنها اسکنی از محیط اطراف می‌گیرد که بر اساس آن در هر زاویه مشخص، فاصله نزدیکترین مانع تعیین می‌شود. برای استفاده از این حسگر جهت تعیین میزان جابجایی ربات حداقل به دو اسکن نیاز است. به عبارتی دیگر، اسکن اول در موقعیتی از محیط گرفته می‌شود. با جابجایی ربات و گرفتن اسکنی دیگر از محیط، دو اسکن بدست می‌آیند. این دو اسکن توسط الگوریتم ICP به یکدیگر تطبیق داده می‌شوند و با تطبیق آن ها میزان جابجایی افقی و میزان چرخش ربات تعیین می‌گردد. با هر بار اسکن از محیط، دو خروجی در دسترس ما خواهد بود: اول زاویه از ۰ تا ۱۸۰ درجه که اسکن بر اساس آن انجام گرفته است و دوم فاصله‌هایی که توسط این حسگر سنجیده شده است. به عبارتی دیگر توسط لیزر، فاصله ربات تا هر گونه شی در اطراف آن تا ماکزیمم شعاع قابل اندازه گیری سنجیده می‌شود. بنابراین می‌توان خروجی را به صورت نیم دایره ای که در زاویه‌های مختلف آن، فاصله های متفاوتی وجود دارد، تصور کرد. یک نمونه از اسکن از محیط را می‌توان در شکل ۱-۳ مشاهده نمود.



شکل ۱-۳ اسکن لیزر از محیط

برای تعیین میزان جابجایی ربات توسط الگوریتم ICP به دو اسکن نیاز است. با استفاده از این دو اسکن و یافتن نقطه‌های مرتبط با یکدیگر، میزان انتقال ربات و چرخش آن بدست می‌آید. چنانچه ماتریس انتقال ربات را T و ماتریس چرخش ربات را R بنامیم، توسط الگوریتم ICP می‌توان پارامترهای این دو ماتریس را محاسبه نمود. این روش به طور کامل در [۲۰] توضیح داده شده است.

چنانچه مجموعه نقاط اسکن اول را Z_{ref} و مجموعه نقاط اسکن دوم را Z_{new} بنامیم، توسط الگوریتم ICP در هر تکرار ابتدا نقاط مرتبط دو اسکن پیدا شده و سپس میزان انتقال و چرخش این نقاط محاسبه می‌گردد. میزان جابجایی و چرخش ربات در صفحه را به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$q = (x, y, \theta) \quad (۱-۱)$$

همچنین مجموعه‌های Z_{ref} و Z_{new} شامل مجموعه‌ای از نقاط با مختصات دو بعدی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$Z_{ref} = \{p_1 \dots p_{Nref}\}$$
$$Z_{new} = \{t_1 \dots t_{Nnew}\} \quad (۲-۱)$$

در این صورت الگوریتم ICP دو گام زیر را تکرار می‌کند.

۱- برای هر p_i نزدیکترین t_j که به فریم مرجع انتقال داده شده است، پیدا می‌شود.

$$r_i = \arg\min\{d(p_i, t_j)\} \quad (۳-۱)$$

که نتیجه، N نقطه مرتبط است.

۲- جابجایی به نحوی محاسبه می‌شود که خطای بین نقطه‌های مرتبط مینیمم گردد:

$$E_{dist}(q) = \sum_{i=1}^{N} d(p_i, q(r_i))^2 \quad (۴-۱)$$

الگوریتم ICP به این گونه عمل می‌کند که در ابتدا یک حدس اولیه برای میزان جابجایی و چرخش را از کاربر می‌گیرد. چنانچه هیچ حدس اولیه‌ای وجود نداشته باشد، آن را صفر قرار می‌دهد. در گام اول، نقاط متانظر بین دو اسکن تعیین می‌شوند. از آنجا که دو اسکن در دو مکان مختلف از محیط گرفته شده است، طبیعی است که بعضی از نقاط را نتوان به نقطه‌ای در اسکن دیگر متناظر نمود. علت این موضوع این است که بعضی از نقاط محیط در یک اسکن دیده شده و در اسکن دیگر دیده نمی‌شوند. دلیل دیگر وجود نویز در داده‌های کسب شده از محیط است. از این رو چنانچه فاصله بین دو نقطه از میزان خاصی بالاتر باشد، آن نقاط به عنوان نقاط متناظر در نظر گرفته نمی‌شوند. در گام بعد میزان جابجایی و چرخش به نحوی محاسبه می‌شود که فاصله بین نقاط متناظر مینیمم گردد. این تکرار تا جایی ادامه پیدا می‌کند که تابع خطا از حدی کمتر شده و یا تعداد تکرارها به پایان رسیده باشد.

نمونه‌ای از تطبیق دو اسکن توسط الگوریتم ICP را می‌توان در شکل ۱-۴ و شکل ۱-۵ مشاهده نمود. در شکل ۱-۴ ابتدا چرخش بر روی اسکن انجام شده و در شکل ۱-۵ انتقال اسکن صورت گرفته است. در نهایت دو اسکن بر یکدیگر تطبیق یافته‌اند.