بسم الله الرحمن

الرحيم

دانشگاه یزد
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک-طراحی کاربردی

مکان یابی یک ربات در یک محیط داخل سالنی با استفاده از ترکیب اطلاعات

استاد راهنما: **دکتر سید محمد بزرگ**

استاد مشاور: **دکتر علی اکبر تدین**

پژوهش و نگارش: **سید علی طباطبایی**

اسفند ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر صبورم
که در طول این سال‌ها ،تنها یار و یاور من بوده‌اند.

با سپاس و قدردانی از اساتید بزرگوارم
جناب آقای دکتر بزرگ و دکتر تدین
که مرا در طول این پروژه راهنمایی نمـــــــــــــودهاند...

چکیده

مکان‌یابی ربات‌ها یکی از عوامل مهم در ناوبری و طراحی ربات‌های خودکار است. حسگرهای مختلفی برای مکان‌یابی وجود دارند که هرکدام دارای خطا هستند. همچنین عملگرهای ربات که سیستم محرکه‌ی آن را تشکیل می‌دهند نیز در مکان‌یابی خطا ایجاد می‌کنند. یکی از روش‌های تخمین مکان ربات با در دسترس بودن حسگرهای دارای خطا، ترکیب اطلاعات این حسگرها است. در این پروژه مکان‌یابی یک ربات داخل‌سالنی با استفاده از حسگرهای اینرسی، انکودر و اسکنر لیزری مورد بررسی قرار گرفته است. روش مورد استفاده در این پروژه فیلتر کالمن بی‌بو است. در این روش برخلاف روش متداول فیلتر کالمن توسعه یافته احتیاج به خطی سازی مدل سیستم غیرخطی ندارد. به منظور اعتبار بخشیدن به الگوریتم‌های طراحی شده از داده‌های واقعی که از یک تست عملی در دانشکده‌ی هوافضا، مکانیک و مکاترونیک دانشگاه سیدنی استرالیا به‌دست آمده استفاده شده است. مقایسه‌ی تخمین مکان ربات توسط فیلتر کالمن بی‌بو با فیلتر کالمن توسعه یافته از دیگر کارهای انجام شده در این پروژه است. همچنین مقایسه‌ای بین دو زیر مجموعه از فیلتر کالمن بی‌بو نیز صورت گرفته است. نتیجه‌ی مقایسات نشان می-دهد که فیلتر کالمن بی‌بو از لحاظ دقت تخمین نسبت به فیلتر کالمن توسعه یافته برتری دارد ولی در اجرای آن زمان بیشتری نسبت به فیلتر کالمن توسعه یافته باید هزینه شود.

فهرست عناوین

فصل اول: مقدمه

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- تاریخچه مکانیابی رباتهای داخل‌سالنی ۴

۱-۳- کار انجام شده در این پروژه ۹

۱-۴- مروری بر فصل های این پروژه ۱۰

فصل دوم: معرفی فیلترهای مورد استفاده

۲-۱- پیشگفتار ۱۲

۲-۲- فیلتر EKF ۱۳
۲-۳- فیلتر UKF ۱۷

فصل سوم: مدل سازی سیستم و مشاهدات

۳-۱- مدل سازی سیستم ۲۶
۳-۱-۱- تعیین راستای اولیه ۳۱
۳-۱-۲- خطاها در حسگر اینرسی ۳۲
۳-۲- مدل سازی مشاهدات ۳۳
۳-۲-۱- مدل سازی انکودر ۳۳
۳-۲-۲- مدل سازی مشاهدات اسکنر لیزری ۳۴

فصل چهارم: نتایج تخمین و مقایسه‌ی عملکرد فیلترها

۴-۱- اجرای فیلتر EKF ۳۸
۴-۲- اجرای UKF ۴۱
۴-۳- نتایج اجرای فیلترها و مقایسه‌ی آنها ۴۲

فصل پنجم: نتیجه گیری

۵-۱- جمع بندی و نتایج ۵۴
۵-۲- موضوعات تحقیق پیشنهادی ۵۶
پیوست الف ۵۷
منابع و مآخذ ۵۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیش‌گفتار

علم رباتیک در جهان امروز به سرعت پیشرفت می‌کند وکاربرد این علم را می‌توان در امور صنعتی و خدماتی یافت. از نمونه‌های صنعتی آن می‌توان به ربات‌هایی که در کارخانه‌ها کار جوشکاری را انجام می‌دهند و یا برای جابه‌جایی خودکار محصولات و قطعات به کار گرفته می‌شوند، اشاره کرد. ربات‌های راهنما در موزه‌ها و سازمان‌های اداری و جارو برقی‌های خودکار مورد استفاده در خانه‌ها از ربات‌های خدماتی محسوب می‌شوند.

یک سؤال اولیه برای طراحی ربات این است که آیا ربات مورد نظر، نیاز به دانستن مکان خود و مقصد حرکت دارد؟ در حالتی که ربات بدون دانستن مکان خود کار خاصی را انجام می‌دهد، برای مثال در یک محیط اداری از یک اتاق به اتاق مجاور می‌رود، توسط مجموعه‌ای از دستورهای رفتاری به هدف خود می‌رسد[۱]، مانند دنبال کردن دیوار از طرف راست یا چپ. مشکل این روش این است که در صورت عوض شدن محیط، ربات باید دوباره برنامه‌ریزی شود و کوچکترین تغییر، باعث نا کارامدی آن می‌شود. مشکل دیگر وقت‌گیر بودن بعضی رفتارهای اجرا شده توسط ربات برای رسیدن به هدف است. روش‌هایی که در مسابقات رباتیک به کار گرفته می‌شوند، اغلب از این دسته‌اند.

مزیت حالتی که ربات مکان دقیق خود را می‌داند، این است که می‌توان توسط آن از محیط‌های ناشناخته و خطرناک، برای ورود بعدی انسان یک نقشه تهیه کرد. یک مثال کاربردی ربات‌های امداد در سوانح آتش سوزی و یا زلزله هستند.

در بسیاری از موارد برای اینکه ربات بتواند کار خاصی را انجام دهد و یا هدف خاصی را دنبال کند، باید مکان خود را بداند. این بحث در رباتیک مکان‌یابی[۲] نام دارد. مکان‌یابی یکی از

[۱] Behavior based navigation

[۲] Localization

مراحل ناوبری[۱] ربات محسوب می‌شود. در بعضی از مسایل ناوبری نقشه‌ی محیطی که ربات در آن هدایت می‌شود در دسترس نیست. بنابراین از ربات برای تهیه‌ی نقشه استفاده می‌شود. ربات برای تهیه‌ی نقشه باید همزمان مکان خود را بداند. این چالش در علم رباتیک تهیه‌ی نقشه و مکان‌یابی همزمان (SLAM[۲]) نامیده می‌شود[۱].

یکی از نیازهای اساسی ربات، دریافت اطلاعات از محیط پیرامون خود است. این کار را با استفاده از حسگرهای نصب شده روی آن انجام می‌دهد. طبقه بندی حسگرها را می‌توان به صورت زیر انجام داد[۱]:

حسگرهای داخلی[۳]: حسگرهایی که متغیرهای سیستم را با استفاده از اطلاعات داخل سیستم و بدون ارتباط با محیط اطراف اندازه‌گیری می‌کنند. برای مثال سرعت موتور، بار چرخ، زوایای بازوی ربات و ولتاژ باتری.

حسگرهای خارجی[۴]: حسگرهایی که اطلاعات را از محیط ربات دریافت می‌کنند. برای مثال فاصله تا موانع، شدت نور و بازگشت صدا.

همچنین حسگرها از لحاظ تعامل با محیط اطراف به دو دسته تقسیم می‌شوند:

حسگرهای غیرفعال[۵]: حسگرهایی که انرژی محیط اطراف را که وارد حسگر می‌شود، اندازه‌گیری می‌کنند. مانند میکروفن و دوربین.

حسگرهای فعال[۶]: حسگرهایی که از خود انرژی ساطع می‌کنند و عکس العمل محیط را دریافت می‌نمایند. چالش‌های موجود در این نوع از حسگرها از آنجا ناشی می‌شود که انرژی‌های دیگری که در کنترل حسگر نیستند بر انرژی ساطع شده از حسگر تأثیر می‌گذارند. نمونه‌های این حسگرها، حسگر التراسونیک و لیزر فاصله یاب هستند.

---

[۱] Navigation
[۲] Simultanous Localization And Map Building
[۳] Properioceptive
[۴] Exteroceptive
[۵] Passive
[۶] Active

بحث مطرح دیگر در رباتیک ترکیب اطلاعات حسگرها است. یک متغیر سیستم را می‌توان با چند حسگر که از قوانین فیزیکی مختلفی برای اندازه‌گیری استفاده می‌کنند و هر کدام دارای خطای مخصوص به خود هستند، اندازه‌گیری کرد. با ترکیب اطلاعات این حسگرها می توان تخمین دقیق‌تری از متغیرهای سیستم به دست آورد. در مکان‌یابی ربات معمولاً متغیرها مکان ربات و موانع موجود در محیط حرکت ربات هستند. اغتشاش عملگرها[۱] نیز بر دقت مکان‌یابی تأثیر می‌گذارد. برخی از این اغتشاشات به صورت دقیق قابل مدل سازی نیستند. برای مثال، رباتی که در طی حرکت آن، چرخ‌هایش دچار لغزش می‌شود. روش‌های مختلفی در ترکیب اطلاعات حسگرها وجود دارد. در این پروژه روش‌هایی کاربردی برای مکان‌یابی یک ربات داخل سالنی[۲] به کار گرفته می‌شوند.

۱-۲- تاریخچه مکان‌یابی ربات‌های داخل‌سالنی

مسئله‌ی مکان‌یابی در محیط های داخل سالنی از کاربردهای متنوعی برخوردار است. به عنوان مثال وسایل خودگردان[۳] در کارخانجات که معمولاً برای جابجایی محصولات به کار می-روند[۲]و[۳]، راهنمایی افراد نابینا[۴]، ماشین‌های کار در معدن (با توجه به این که محیط کار این ماشین‌ها در محیط‌های سربسته است، مانند مسایل داخل سالنی مدل سازی می‌شوند)[۵] وکاربرد نظامی و حفاظتی (چرخبال‌های کوچک)[۶].

در مکان‌یابی ربات‌های داخل سالنی انواع حسگرها با روش‌های اندازه‌گیری مختلف به کار می‌روند. حسگرهای مکان‌یابی را در حالت کلی می‌توان به دو نوع تقسیم کرد:

الف) حسگرهایی که موقعیت نسبی را اندازه‌گیری می‌کنند: مثل حسگرهای اینرسی و انکودرهای افزایشی[۴].

---

[۱] Effector noise
[۲] Indoor Robot
[۳] Autonomous
[۴] Incremental Encoder

ب) حسگرهایی که مکان مطلق را نسبت به یک مرجع اندازه‌گیری می‌کنند: مثل اسکنرهای لیزری و التراسونیک.

GPS[۱] نیز معمولاً در مسایل مکان‌یابی به کار می‌رود ولی در محیط‌های داخل سالنی به علت مسقف بودن و نرسیدن سیگنال‌های ماهواره‌ها نمی‌توان از آن استفاده کرد. حسگرهای بالا از رایج ترین ابزارها برای تعیین موقعیت یک ربات هستند. وقتی صحبت از به کارگیری چند حسگر به طور همزمان برای تشخیص موقعیت می‌شود، فیلترهایی که به منظور ترکیب اطلاعات طراحی شده‌اند، مطرح می‌گردند. به عنوان مثال حسگر انکودر در ترکیب با حسگر اینرسی[۷]، التراسونیک[۸]، دوربین[۹] و اسکنر لیزری[۱۰]، به کار رفته‌اند.

مقالات اولیه در موقعیت یابی ربات‌ها معمولاً از یک نوع حسگر که در طبقه‌بندی بالا اشاره شده است، استفاده می‌کردند. برای مثال در [۱۱] از لیزرهای گردان برای تشخیص بارکدهای نصب شده در محل استفاده شده است. این روش یکی از روش‌های مرسوم در موقعیت‌یابی لیفتراک‌های خودکار در کارخانه‌ها بوده است. در [۱۲] از نشان‌های غیرفعال(نوار انعکاسی) و لیزر چرخان برای مکان‌یابی ربات استفاده شده است. استفاده از پالس‌های التراسونیک از ربات و برگشت مادون قرمز از نشان‌ها در [۱۳] از روشهای پر هزینه برای مکان‌یابی ربات در زمان خود بوده است. از مزیت‌های به کار گیری روش‌های ترکیب اطلاعات در تعیین موقعیت ربات، استفاده از حسگرهای ساده و کم هزینه است.

در اکثر مقالات مکان‌یابی ربات، به دلیل اینکه معمولاً مدل سیستم و مدل اندازه‌گیری غیرخطی هستند، از فیلتر کالمن توسعه یافته (EKF[۲]) برای ترکیب اطلاعات حسگرها استفاده شده است. به دلیل برخی اشکالات وارده بر EKF که در فصل‌های بعدی بیشتر توضیح داده می-شود، فیلترهایی مثل فیلتر کالمن بی رد (UKF[۳]) طراحی شده‌اند که این اشکالات را رفع می‌کنند.

[۱] Global Positioning System
[۲] Extended Kalman Filter
[۳] Unscented Kalman Filter

در [۱۴] با استفاده از سنسورهای التراسونیک و نشان های طبیعی به وسیله‌ی EKF مکان یابی دو ربات بررسی شده‌است. در اولی یک سنسور التراسونیک گردان و در دومی شش سنسور التراسونیک ثابت روی ربات نصب می‌شوند و ربات با سرعت ۳۰ سانتی متر بر ثانیه حرکت می‌کند. مزیت استفاده از یک حلقه‌ی سنسوری نسبت سنسور گردان در این است که ربات نیازی به توقف برای استخراج داده‌ها ندارد. مزیت سنسور گردان داشتن یک تکیه‌گاه محلی است به این معنا که در اثر حرکت، حلقه‌ی سنسورها با عدم اطمینان تا ۲۵ درجه برای اندازه گیری‌ها مواجه می‌شوند. در این مقاله از دستورهای حرکتی برای ربات به عنوان مدل سیستم حرکت استفاده شده است.

یک الگوریتم پردازش سیگنال دیجیتالی سیستماتیک برای مکان‌یابی ربات توسط ترکیب اطلاعات انکودر و اندازه‌گیری التراسونیک در [۱۵] ارائه شده است. اطلاعات جهت‌گیری ربات از قطب نمای مغناطیسی، ژیروسکوپ نرخی و دو انکودر روی چرخ‌های ربات ترکیب می‌شوند. زیر-سیستم التراسونیک شامل یک فرستنده‌ی التراسونیک و یک سوئیچ کنترل شده با فرکانس رادیویی است که در محل مشخص در محیط نصب می‌شوند. چهار گیرنده‌ی التراسونیک و یک سوئیچ کنترل شده با فرکانس رادیویی نیز روی ربات نصب می‌گردد. اطلاعات زمان رفت و برگشت[۱] مربوط به التراسونیک و مسافت پیمایی توسط EKF با هم ترکیب می‌شوند. الگوریتم آنها حتی در حالت تداخل مغناطیسی نیز با قدرت عمل کرد.

در [۱۶] از فیلتر کالمن غیر مستقیم[۲] که از مدل خطای حسگرها بهره می‌برد، برای ترکیب انکودر و ژیروسکوپ استفاده شده است. انکودر و اسکنر لیزری در [۲] با استفاده ازEKF طوری ترکیب شده‌اند که بتوان از آن برای مثلث سازی[۳] (روشی که در آن با دانستن مکان دقیق سه نشان[۴] و محاسبه‌ی فاصله‌ی ربات تا آنها می‌توان مکان دقیق ربات را تخمین زد) و تخمین مکان ربات استفاده کرد. مدل خطا و فیلتر کالمن برای ترکیب حسگرهای ژیروسکوپ، شتاب‌سنج و انکودر نیز به کار رفته است[۷].

---

[۱] Time of flight

[۲] Indirect Kalman Filter

[۳] Triangulation

[۴] Beacon

در [۶] از فیلتر ذره[۱] برای ترکیب حسگرهای اینرسی و اسکنر لیزری جهت تعیین موقعیت یک چرخبال استفاده شده است. فیلتر ذره از لحاظ دقت نسبت به EKF و UKF برتری دارد ولی پیچیدگی کار با آن بیشتر است. ترکیب حسگرهای اینرسی، انکودر،اسکنر لیزری و زاویه-ای وآلتراسونیک با استفاده از EKF برای موقعیت‌یابی ماشین‌های کار در معدن، مورد توجه محققان در مقاله‌ی[۵] بوده است. آنها در این مقاله حسگرهای اینرسی و اسکنر لیزری را در یک حلقه و حسگرهای انکودر و لیزر زاویه‌ای و التراسونیک را در حلقه‌ی دیگر ترکیب می‌کنند. در [۸] با استفاده از فیلتر کالمن توسعه یافته بازگشتی[۲] (در این روش نقطه‌ای که مدل غیر خطی حول آن خطی سازی می‌شود با تکرار بدست می‌آید) و ترکیب اطلاعات نشان‌های فعال[۳] و انکودر، مکان ربات تخمین زده می‌شود. نشان‌های فعال، نشان‌هایی هستند که دارای گیرنده و فرستنده هستند. مکان‌یابی افراد نابینا توسط ترکیب اطلاعات لیزر وحسگر اینرسی به وسیله‌ی فیلتر کالمن توسعه یافته در [۴] و[۱۷] مورد توجه قرارگرفته است. ترکیب حسگرهای قطب نما، انکودر و مادون قرمز توسط فیلتر کالمن از پایه‌های طراحی یک جاروبرقی خودکار است[۱۸].

محققان در [۱۹] با انجام یک آزمایش ۹۰ دقیقه‌ای حسگرهای اسکنر لیزری و انکودر را با استفاده از EKF ترکیب کردند. در این آزمایش از نشان‌های طبیعی (دیوارها) برای مکان‌یابی استفاده شده است. دوربین نیز از ابزارهایی است که در ترکیب با انکودر برای مکان‌یابی ربات به کار می‌رود[۹]. با استفاده از پردازش تصویر دوربین‌ها، فاصله‌یابی صورت می‌گیرد و با داشتن نقشه‌ی محیط، تشخیص موقعیت ربات ممکن می‌شود. در [۲۰] با استفاده از ترکیب انکودر و لیزر توسط EKF، مکان ربات در محیط داخلی تخمین زده شده است.

در [۲۱]، مکان‌یابی ربات در یک محیط داخلی به وسیله‌ی آلتراسونیک و ترکیب آن با انکودر توسط UKF وEKF انجام گرفته و از شبکه‌های اشغال[۴] برای مدل‌سازی محیط استفاده شده است. نویسندگان این مقاله، مزیت این مدل‌سازی را در این می‌دانند که تنها خطاهای حسگر

[۱] Particle Filter
[۲] Iterated Extended kalman Filter
[۳] Active Beacons
[۴] Occupancy grids

آلتراسونیک مهم فرض می‌شوند و آن را با مدلی از محیط که برپایه‌ی اجزا[۱] است، مقایسه می‌کند. چرا که در آن خطای مرتبط ساختن مشاهدات خارجی (اندازه‌گیری مکان اجزاء نقشه یا نشان‌ها) با نقشه محیط[۲] نیز در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله قبل از استفاده از مدل حرکت ربات، آن را کالیبره می‌کنند و پارامترهای کالیبراسیون برای شعاع چرخ‌ها و طول اکسل به دست می‌آید. نکته-ی قابل توجه در این مقاله این است که زاویه‌ی جهت‌گیری ربات که عامل مهمی در خطای معادلات سیستم است، اندازه گیری نمی‌شود. آنها الگوریتم‌های خود را در دو مسیر متفاوت بررسی کردند و در پایان نتیجه گرفتند که فیلتر UKF دقت بیشتری نسبت به EKF دارد.

در [۲۲]، از ترکیب اطلاعات ژیروسکوپ و انکودر به وسیله‌ی UKF و EKF، برای مکان-یابی ربات در محیط داخل سالنی استفاده شده است. مدل حرکت آنها بر خلاف[۲۱]، کالیبره نیست. در این مقاله نیز دومسیر برای ربات در نظر گرفته شده و نتایج، نشان دهنده‌ی دقت بیشترUKF نسبت به EKF است.

در [۲۳]، UKF و EKF برای ترکیب اطلاعات حسگرهای قطب‌نما و انکودر، برای مکان-یابی یک وسیله‌ی نقلیه در محیط خارجی استفاده شده‌اند. در این مقاله از نشان‌های مغناطیسی که در زیر جاده کار گذاشته شده است، برای بروز کردن مکان ربات استفاده می‌کنند. نتایج این مقاله نیز مشابه دو مقاله‌ی قبل دقت بیشتر UKF را تأیید می‌کند.

ترکیب حسگر اینرسی و التراسونیک به منظور مکان‌یابی ربات، در [۲۴] بررسی شده است. دلیل استفاده از حسگر اینرسی این است که حسگر التراسونیک برای بروز کردن مکان، احتیاج به شناسایی یک شیء در محیط اطراف دارد. در صورتی که این شیء قابل درک نباشد، از حسگر اینرسی برای ناوبری و مکان‌یابی استفاده می‌شود. یکی از اشکالات فیلتر کالمن برای ترکیب اطلاعات التراسونیک، پیچیدگی فرایند مرتبط ساختن مشاهدات خارجی با محیط و تأثیر پذیری این فیلتر از بایاس و انحراف[۳] است. یک الگوریتم آنالیز فاصله[۴]، برای حل مشکل ارتباط داده‌ها با

---

[۱] Feature based

[۲] Data Association

[۳] drift

[۴] interval analysis

محیط، در این مقاله معرفی شده است. آنالیز فاصله برای بروزکردن تخمین توسط آلتراسونیک به کار می‌رود. مزیت آنالیز فاصله این است که نیازی به داشتن مدل از سیستم ربات و اغتشاش حسگرها نیست. بنابراین EKF برای ترکیب اطلاعات اینرسی و انکودر، و آنالیز فاصله برای تصحیح اندازه‌گیری‌های حسگر التراسونیک به‌کار می‌رود. در پایان این دو با هم ترکیب می‌شوند تا تخمین بهتری را ارائه دهند. همین نویسندگان در مقاله‌ای دیگر از UKF به جای EKF استفاده کرده-اند[۲۵]. نتایج نهایی آزمایشات انجام شده توسط این محققان نشان دهنده‌ی برتری UKF بر EKF از لحاظ دقت است.

۱-۳- کار انجام شده در این پروژه

هدف اصلی در انجام این پروژه تخمین موقعیت ربات‌های داخل سالنی با ترکیب اطلاعات چند حسگر از جمله انکودر، حسگر اینرسی و اسکنر لیزری است. با روش‌های متفاوتی می‌توان به این مهم دست یافت. انتخاب فیلترهایی که برای ترکیب این حسگرها به کار می‌روند تأثیر بسزایی در میزان دقت تخمین نهایی برای مکان ربات دارد. در میان فیلترهای ترکیب اطلاعات، EKF به دلیل عدم پیچیدگی کار با آن معمولاً برای سیستم‌های غیر خطی به کار می‌رود. در این پروژه سعی بر این است علاوه بر EKF از UKF نیز استفاده شود و عملکرد این دو فیلتر با یکدیگر مقایسه شوند. همچنین ترکیب حسگرهای استفاده شده برای تخمین موقعیت، با کارهای پیشین متفاوت است.

در اکثر مقالات، مدل انکودر به عنوان مدل سیستم در نظر گرفته می‌شود، اما در این پروژه، از انکودر به عنوان مشاهده برای بروز رسانی متغیرهای حالت حسگر اینرسی (مدل سیستم) استفاده شده است. این عمل با توجه به تحقیقاتی که از GPS برای بروز رسانی حسگر اینرسی در محیط‌های خارجی استفاده می‌کنند، خیلی دور از ذهن نیست[۲۷]. نکته‌ی مورد توجه این است که در محیط‌های داخل‌سالنی استفاده از GPS ممکن نیست. اسکنر لیزری معمولاً به عنوان ابزاری برای حل مسئله‌ی SLAM استفاده می‌شود ولی در اینجا فقط به منظور مکان‌یابی از آن استفاده

می‌شود. بنابراین می‌توان با تغییراتی در فیلترها آنها را برای مسئله‌ی SLAM نیز طراحی نمود. در مقالاتی که حسگر اینرسی به کار می‌رود، معمولاً از مدل خطای سیستم استفاده می‌شود. در این روش مدل سیستم تبدیل به یک مدل خطی خواهد شد که متغیرهای حالت آن، خطای تخمین مکان ربات هستند. بنابراین استفاده از فیلتر UKF که برای مدل‌های غیر خطی استفاده می‌شود، توجیهی نخواهد داشت. علاوه بر این در[۲۷] اشاره شده است که دقت فیلتر کالمن مستقیم از مدل خطا بیشتر است.

با توجه به دردسترس بودن داده‌های عملی از یک آزمایش که در دانشکده‌ی مکانیک ومکاترونیک دانشگاه سیدنی استرالیا با استفاده از حسگرهای نصب شده روی یک خودرو انجام گرفته، از آنها به عنوان داده‌های خام ورودی به فیلترها استفاده شده است. این داده‌ها قبلاً در [۲۶] استفاده شده است؛ با این تفاوت که در آن دو حلقه‌ی مجزا متشکل از حسگرهای متفاوت به طور همزمان کار تخمین مکان ربات را انجام می‌دهند و مزیت آن این است که در صورت بروز خطا در یک حلقه، می‌توان آن را از سیستم ناوبری حذف کرد. در مورد داده‌ها در فصل‌سوم و پیوست الف توضیح داده خواهد شد.

۱-۴- مروری بر فصل های این پروژه

فصل دوم به معرفی فیلترهای EKF وUKF، ویژگی‌های هرکدام و روابط اصلی آنها، اختصاص دارد. برتری‌ها و کاستی‌های هرکدام از این فیلترها نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم به مدلسازی سیستم و خطاهای آن به همراه مدل سازی مشاهدات (اندازه-گیری) و جزئیات اجرای هریک از فیلترها به طور مجزا و برای دو مسیر متفاوت، پرداخته می‌شود. حسگر اینرسی به منظور مدل‌سازی سیستم و حسگر انکودر و اسکنر لیزری برای مدل سازی مشاهدات استفاده شده‌اند. در این فصل سعی شده است تا بحث‌های اصلی موجود در ترکیب اطلاعات سنسورهای مکان‌یابی ربات، پوشش داده شود.

فصل چهارم شامل بحث پیرامون نتایج و مقایسه‌ی EKF و UKF است. در این فصل به بررسی خطای مسیر تخمین زده شده توسط هر کدام از فیلترها نسبت به مسیر واقعی، پرداخته می‌شود. در این پروژه از مسیر به دست آمده از داده‌های حسگر GPS (به دلیل دقت بالای آن)، به عنوان مسیر واقعی حرکت وسیله، استفاده شده است. در فصل پنجم نیز کارهای انجام شده در این پروژه، جمع بندی و نتیجه‌گیری می‌شود . همچنین پیشنهاداتی برای ادامه‌ی کار، ارائه می‌شود.

فصل دوم

معرفی فیلترهای مورد استفاده

۲-۱- پیش‌گفتار

الگوریتم بیزین[۱] پایه‌ی بسیاری از فیلترهای ترکیب اطلاعات حسگرها است. انتگرال‌های موجود در این الگوریتم تنها برای سیستم‌های خطی و گوسی[۲] دارای جواب است. بنابراین برای سیستم‌های غیرخطی و غیرگوسی باید تقریب‌هایی را بکار برد[۲۸].

یکی از راه حل‌های تقریبی، روش‌های تقریب گوسی است. همه‌ی این روش‌ها چگالی احتمال را با توزیع گوسی مدل می‌کنند؛ با این هدف که با انتشار[۳] و بروز رسانی[۴] مقدار متوسط و واریانس آن چگالی‌ها، بتوان به یک تخمین‌گر پایدار با واریانس مینیمم دست یافت. فیلترهای کالمن و UKF در این دسته از روش‌ها قرار می‌گیرند.

کالمن در استخراج فیلتر خود سه فرض زیر را در نظر گرفت[۲۹]:

۱- یک تخمین سازگار[۵] و دارای حداقل واریانس از متغیرهای تصادفی سیستم و توزیع پسین حالت را می‌توان تنها با محاسبه‌ی گشتاور اول و دوم (مقدار متوسط و کواریانس) تابع توزیع به دست آورد.

۲- تخمین‌گر (بروز رسانی توسط اندازه‌گیری) تابعی خطی از اطلاعات قبلی سیستم و اطلاعات مشاهده شده‌ی جدید است.

۳- پیش‌بینی دقیقی از متغیرهای حالت سیستم و مشاهدات قابل محاسبه است. این پیش‌بینی‌ها برای تقریب گشتاور اول و دوم تابع توزیع به کار می‌روند.

سازگاری در فرض اول بیانگر این است که مقدار متوسط و کواریانس تخمین باید در نامعادله‌ی زیر صدق کنند[۲۹].

$$trace\left[p_k - E[(x_k - \hat{x}_k^-)(x_k - \hat{x}_k^-)^T] \right] \geq 0 \qquad (۲-۱)$$

[۱] Bayesian
[۲] Gaussian
[۳] Propagation
[۴] Update
[۵] consistent