

تلفیق ناوبری تصویری با Ins در مقایسه با تلفیق با GPS در پرنده‌های بدون سرنشین

داود قاسم‌آبادی^۱، ناصر ظهیرنیا^۲

۱- استادیار دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

۲- مدرس دانشگاه هوافضا عاشورا

چکیده

در این مقاله ابتدا به شرح مختصری از روش ناوبری اینرسی و مشکلات سیستم INS اشاره شده است و با توجه به وابستگی پرنده‌های بدون سرنشین به سیستم‌های ناوبری ماهواره‌ای و امکان ایجاد اختلال و خطا و عدم بهره‌گیری درست از محاسبات دقیق آن در مواقع بحران، برای رفع این مشکلات مزایای تلفیق ناوبری اینرسی با روش ناوبری مبتنی بر تصویر (VINS)، به جای تلفیق با سیستم ناوبری ماهواره‌ای مانند GPS بررسی شده است.

واژگان کلیدی: ناوبری تصویری، INS، ناوبری تلفیقی، VINS

۱- مقدمه

ناوبری دانش هدایت و راهیابی وسایل نقلیه بین دو نقطه است. با توجه به پیشرفت‌های جدید در حوزه نیمه‌رسانا و الکترواپتیکی روش‌های ناوبری نوین مانند ناوبری مبتنی بر تصویر به صورت یک ناوبری مستقل و بدون کمک خارجی توسط سامانه‌های هوایی و پرنده‌های بدون سرنشین در چندساله اخیر رشد شایان‌ذکری داشته است. قابلیت دوربین‌ها و سیستم‌های الکترواپتیکال و فروسرخ و پردازشگرهای پیشرفته رکن اصلی در روش ناوبری مبتنی بر تصویر است. این سیستم‌ها به طور پیوسته در حال گسترش و بهبود است. عمده‌ترین تغییرات و پیشرفت سیستم‌های الکترواپتیکی مربوط به توسعه در سنسورها و آشکارسازهای این سیستم‌ها می‌باشد. این امر نیز تا حد زیادی به خاطر توسعه تکنولوژی کاربردی^۱ FPA می‌باشد. دوربین‌های حرارتی با آرایه‌های صفحه کانونی در این سیستم‌ها که امروزه در حال جایگزین شدن با سیستم‌های دیگر تصویربرداری حرارتی شده‌اند به جای استفاده از یک یا دو دکتور از آرایه‌های از آشکارسازهای حساس به طیف مادون قرمز استفاده می‌گردد. کشورهای دارای تکنولوژی سیستم‌های الکترواپتیکی نظیر ایالات متحده و رژیم صهیونیستی و شرکت‌های وابسته به آن‌ها به طور جدی در حال توسعه آخرین تکنولوژی‌ها در زمینه FPA در محدوده طیفی ۵-۳ میکرومتری طول‌موج‌های متوسط فروسرخ (MWIR) و ۱۲-۸ میکرومتری طول‌موج‌های بلند فروسرخ (LWIR) با استفاده از مواد مختلف نیمه‌رسانا و طراحی‌های گوناگون FPA می‌باشد. این‌ها شامل FPA های نیمه‌رسانای پیشرفته^۲ III-V از نوع^۴ SLS، FPA های دوبانده نیمه‌رسانای^۲ II-VI از نوع HgCdTe و FPA های بلومتری غیر سرد شونده می‌باشد. هر کدام از این تکنولوژی‌های FPA نیازمندی‌های مأموریت‌های مختلفی را دنبال می‌کنند و نه تنها برای افزایش قابلیت و کارایی سنسورها، بلکه همچنین برای بهبود فرآیند تولید و کاهش هزینه‌ها توسعه یافته‌اند.

۲- تلفیق ناوبری اینرسی با GPS

ناوبری اینرسیایی یک از روش‌های اصلی ناوبری در اکثر هواگردها و کشتی‌هاست و مبتنی بر اصول اینرسی عمل می‌کند. به این معنی که شتاب و چرخش و میدان مغناطیسی سیستم به ترتیب توسط سنسورهای شتاب‌سنج وژیروسکوپ و مگنتومتر حس شده و سپس با انجام یک سری عملیات ریاضی و فیلترینگ، میزان چرخش و در مدل‌های پیشرفته‌تر میزان تغییر موقعیت محاسبه می‌شود. این سیستم در اندازه‌گیری میزان چرخش دقت مناسبی دارد و مورد استفاده قرار می‌گیرد اما در اندازه‌گیری میزان تغییر مکان اگر از سنسورهای با دقت بسیار بالا استفاده نشود، خروجی خطاهایی دارد که لازم است در بازه‌های زمانی چنددقیقه‌ای با سیستم دیگری تطابق داده شود و خطای آن گرفته شود. در کاربردهای تجاری معمولاً از سنسورهایی استفاده می‌شود که با تکنولوژی MEMS ساخته شده‌اند اما در کاربردهای حساس و نظامی سنسورهای دیگری مانند FOG استفاده می‌شود که دارای دقت و قیمت

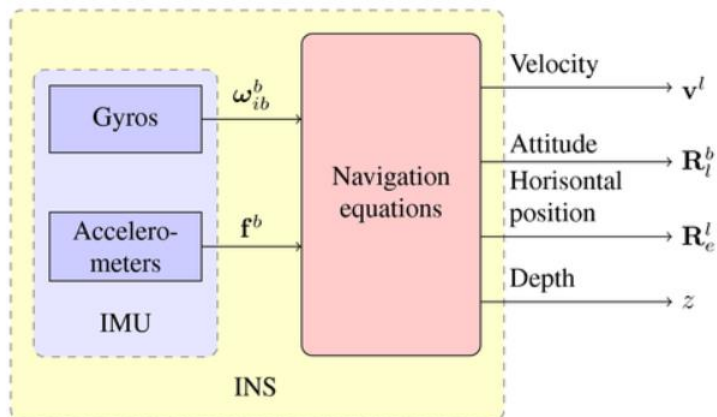
^۱focal plane array

^۲mid-wavelength infrared

^۳long-wavelength infrared

^۴strained-layer-super lattice

بسیار بالا هستند. ناوبری اینرسی با استفاده از سنسورهای امکان تعیین بلادرنگ موقعیت سیستم را در وضعیت‌های مختلف و بدون نیاز به هرگونه سیگنال خارجی را دارد اما عیب اصلی آن‌ها رفتار خطا در آن‌هاست که با گذشت زمان افزایش می‌یابد و همچنین خطا در کانال ارتفاع ناپایدار است. در شکل (۱) بلوک دیاگرام ناوبری اینرسیایی نشان داده شده است.

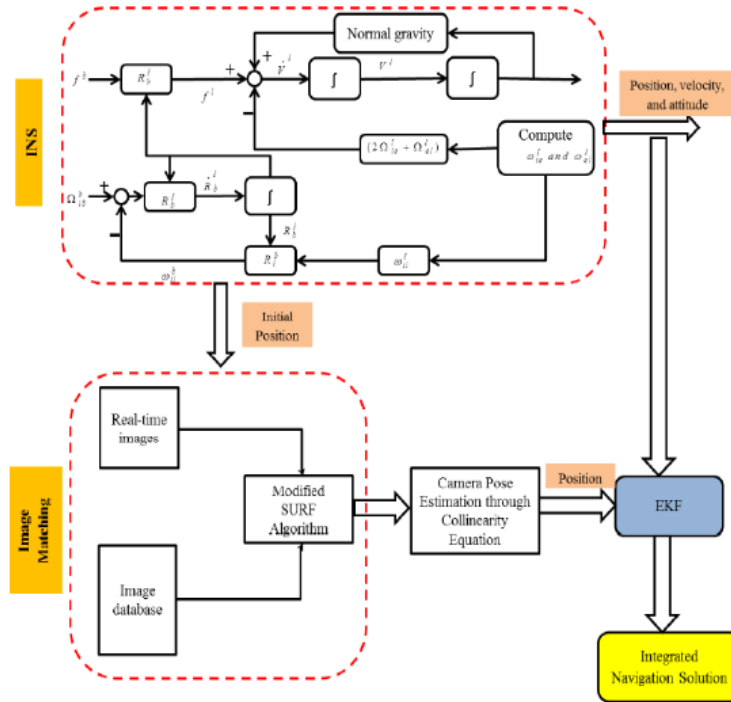


شکل ۱- بلوک دیاگرام ناوبری اینرسیایی

برای مقابله باید از سنسورهای بسیار خوب استفاده کرد که هزینه کار را بالا خواهد برد. راه دیگر تلفیق این سیستم با روش‌های ناوبری نوین مانند GPS و تصویری است تا بتوان خطای به وجود آمده از ناوبری اینرسی را به حداقل رساند. از سیگنال‌های جی‌پی‌اس برای اصلاح نرخ رانش در واحد اندازه‌گیری اینرسی استفاده می‌شود. به‌طورمعمول، واحد اندازه‌گیری اینرسی وابستگی زیادی به جی‌پی‌اس برای جبران خسارت رانش و ناوبری دارد. تلفیق با GPS موجب کاهش خطا خواهد شد اما نکته وجود دارد و آن‌هم امکان جمینگ سیستم است.

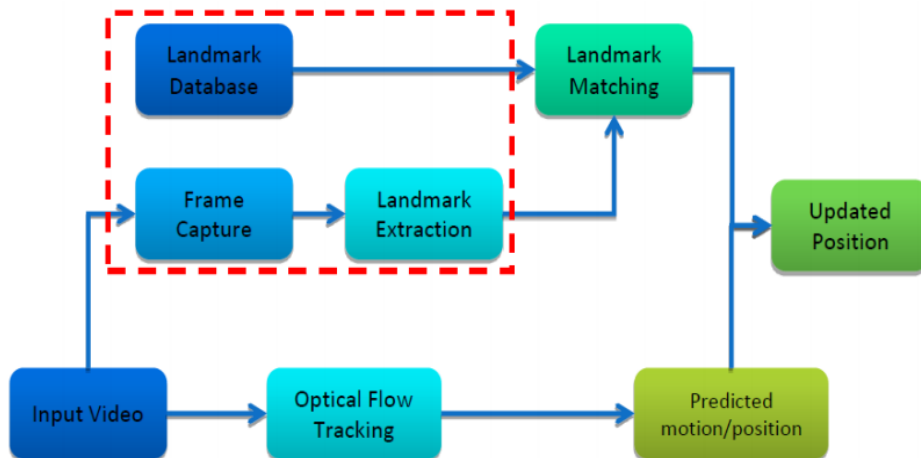
۳- تلفیق ناوبری اینرسی با ناوبری مبتنی بر تصویر (VINS)

این روش جایگزین برای ناوبری با استفاده از بینایی کامپیوتر با تمرکز بر جنبه‌های تجزیه و تحلیل تصویر است. روش ناوبری مبتنی بر تصویر برای سیستم تعیین موقعیت بهره می‌برد. سیستم ناوبری بر مبنای تصویر جایگزین سیگنال‌های جی‌پی‌اس شده و این اجازه را به سامانه هوایی می‌دهد که موقعیت خود را با استفاده از مرجع قرار دادن تصاویر هوایی جغرافیایی پیدا نماید. این سیستم زمانی که جی‌پی‌اس قطع باشد، ناوبری امن‌تری برای سامانه‌های هوایی نظیر پهپادها و... را مهیا خواهد ساخت. در این روش تصاویری از مسیر پرواز سامانه هوایی در کامپیوتر آن ذخیره شده و طی مسیر تصاویر دریافتی از طریق سیستم الکترواپتیکی همراه سامانه با تصویر ذخیره شده تطبیق داده می‌شود. این روش می‌تواند جهت تصحیح خطای ناشی از ناوبری ماهواره‌ای یا اینرسی یا هدف‌گیری دقیق در زمان انجام مأموریت استفاده شود. در شکل (۲) بلوک دیاگرام تلفیق ناوبری اینرسی با ناوبری مبتنی بر تصویر (VINS) نشان داده شده است.]]



شکل ۲- بلوک دیاگرام روش ناوبری مبتنی بر تصویر و INS

در این صورت با استفاده از اطلاعات سایر سیستم‌های ناوبری سامانه هوایی در مسیر تقریبی با دقت کم قرارگرفته و سپس با استفاده از ناوبری مبتنی بر تصویر با استفاده از داده‌های ذخیره‌شده در حافظه کامپیوتر سامانه هوایی مسیر خود را اصلاح کرده و روی مسیر دقیق قرار می‌گیرد. در شکل (۳) بررسی اساسی اجمالی از چگونگی کارکرد سیستم تعیین موقعیت مبتنی بر بینایی زیر نشان داده‌شده است.



شکل ۳- بررسی اساسی اجمالی از چگونگی کارکرد سیستم تعیین موقعیت مبتنی بر بینایی

سیستم تعیین موقعیت مبتنی بر بینایی شامل یک پایگاه داده از نقاط ویژگی‌های منطقه‌ای است که در هر نقطه از ویژگی‌ها را می‌توان یک نماینده از یک شی ثابت در دنیای واقعی مانند یک ساختمان، پل، جاده و غیره در نظر گرفت. ارتباطی بین هر یک از نقاط ثبت شده و نقاط ذخیره شده در پایگاه داده و همچنین محل مربوط به خود در دنیای واقعی وجود دارد. کلید اصلی این رابطه زاویه بین هر یک از نقاط است. این پایگاه داده را می‌توان با استخراج نقاط از یک سیستم جی آی اس موجود و یا توسط تجزیه و تحلیل یک پایگاه داده از تصاویر هوایی مانند گوگل زمین به دست آورد. پایگاه داده به صورت آفلاین آماده شده و بر روی برد کامپیوتر سامانه هوایی ذخیره می‌گردد. در طی یک مأموریت یک دوربین بر روی سامانه هوایی رو به پایین تصاویر پشت سر هم را در زمان واقعی از زمینی که این سامانه بر روی آن در حال پرواز است می‌گیرد. این تصویر به منظور شناسایی و استخراج ویژگی‌های مفید مانند ساختمان‌ها، جاده‌ها و غیره پردازش می‌شود. این ویژگی‌های شناسایی شده به منظور مطابقت با پایگاه داده به سیستم جغرافیایی ارسال می‌شود که از آن به منظور ایجاد مکان فعلی سامانه هوایی بهره‌برداری می‌گردد. در این روش تصاویری از مسیر سامانه هوایی در کامپیوتر آن ذخیره شده و در طی مسیر، تصاویر دریافتی از طریق دوربین همراه سامانه با تصویر ذخیره شده تطبیق داده می‌شود. محیطی که در آن نوبری صورت می‌گیرد، محیطی فاقد ساختار است. نوبری در چنین محیطی بر اساس استخراج ویژگی‌هایی خاص از تصاویر ذخیره شده در سامانه هوایی و تصاویر دریافتی توسط دوربین است. اصلی‌ترین مراحل در نوبری مبتنی بر تصویر انتخاب و استخراج این ویژگی‌ها، توصیف ویژگی‌های استخراج شده به گونه‌ای که به راحتی از یکدیگر قابل تفکیک باشند و سرانجام تناظر یابی ویژگی‌های تصاویر دریافتی با تصاویر ذخیره شده است. استخراج ویژگی‌های تصویر از طریق نگاشت تصویر ورودی به فضای مقیاس گاوسی انجام می‌شود و به همین خاطر این نقاط نسبت به مقیاس مقاوم هستند. توصیف این نقاط بر اساس گرادیان محلی تصویر، آن‌ها را نسبت به چرخش تغییرناپذیر می‌نماید. همچنین با اعمال روش‌هایی تغییرناپذیری نسبت به سایر متغیرها نظیر تغییرات روشنایی و نویز نیز حاصل می‌شود. تطبیق تصویر پروسه یافتن مشابهت بین دو یا چند تصویر است که در زمان‌های مختلف، از نماهای مختلف و یا با سنسورهای مختلف گرفته شده‌اند. روش‌های تطبیق تصویر به دودسته ویژگی مبنا و ناحیه مبنا تقسیم‌بندی می‌شود در روش‌های ویژگی مبنا، تطبیق تصویر از چهار مرحله اصلی پیش‌پردازش، آشکارسازی ویژگی، انطباق ویژگی و تخمین تابع تبدیل تشکیل شده است در ادامه توضیحی در رابطه با هریک از این مراحل ارائه شده است. پیش‌پردازش: این مرحله شامل آماده کردن تصاویر برای استخراج ویژگی و متناظر نمودن آن‌ها با یکدیگر است که از روش‌هایی نظیر تغییر مقیاس، حذف نویز و ناحیه بندی استفاده می‌شود. آشکارسازی ویژگی: صفات مشخصه و نمایان لبه‌ها، خطوط، فصل مشترک خطوط، گوشه‌ها و غیره به طور دستی یا خودکار آشکار می‌شوند. انطباق ویژگی: در این مرحله، انطباق بین ویژگی‌های آشکار شده در تصویر مرجع و تصویر دریافتی با استفاده از رابطه مکانی بین ویژگی‌های توصیفگرهای مختلف آن‌ها ایجاد می‌شود. تخمین تابع تبدیل: در این مرحله تابع تبدیل و پارامترهای مدلی که تصویر دریافتی را بر تصویر مرجع منطبق می‌کند، تخمین زده می‌شود.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

برای هدایت سامانه‌های هوایی می‌توان از ناوبری ماهواره‌ای یا سیستم ناوبری اینرسی استفاده کرد باوجود دقت خوب و مقرون به صرفه بودن استفاده از ناوبری ماهواره‌ای وابستگی ناوبری سامانه‌های هوایی به یک سیستم خارجی در شرایط جنگی به دلایل مسائل فنی و سیاسی ممکن است امکان‌پذیر نباشد. همچنین سیستم ناوبری اینرسی به دلیل اینکه خطایش باگذشت زمان افزایش می‌یابد قابل اعتماد نیست. در ناوبری تلفیقی اینرسی تلفیقی با GPS از دست دادن سیستم جی‌پی‌اس برای مدت‌زمان طولانی می‌تواند منجر به شکست سیستم شود. سیگنال جی‌پی‌اس به علت تداخل می‌تواند غیرقابل اعتماد باشد و سیگنال بازتاب وقتی که عامل نزدیک به موانع است می‌تواند به صورت چند مسیری بازتاب نماید. علاوه بر این، افزایش میزان در دسترس بودن تکنولوژی‌های ایجاد پارازیت در جی‌پی‌اس، باعث به وجود آمدن نگرانی‌هایی در مورد وابستگی کنترل و ناوبری به جی‌پی‌اس شده است. برای غلبه بر این مشکل استفاده از یک سیستم ناوبری که به عوامل خارجی وابستگی نداشته باشد به صورت منفرد یا در کنار سایر سیستم‌های ناوبری لازم است. یکی از روش‌هایی که می‌تواند برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد استفاده از ناوبری مبتنی بر تصویر می‌باشد. سیستم جدیدی که مبتنی بر بینایی ماشین معرفی می‌شود که در مقابل جمینگ مقاوم است؛ امکان خطا در ناوبری تصویری عدم تطابق درست تصویر با تصویر ذخیره شده به عنوان کی پوینت (key point) در حافظه کامپیوتر می‌باشد. عیب این سیستم‌ها نیاز به پردازش‌ها REAL TIME با پردازنده سرعت بالا می‌باشد. با توجه به پیشرفت سنسورها و نیمه‌هادی‌ها و سیستم‌های پردازشی امروزه این مشکل تا حدودی مرتفع گشته است.

۵- منابع و مراجع

- [1] Francesco Di Corato, Mario Innocenti, and Lorenzo Pollini, "Combined Vision – Inertial Navigation with Improved Outlier Robustness", University of Pisa, Pisa, 56122, Italy 2010.
- [2] Steven J. Dumble · Peter W. Gibbens, "Airborne Vision-Aided Navigation Using Road Intersection Features", Springer Science +Business Media Dordrecht 2014.
- [3] Joel A. Hesch, Dimitrios G. Kottas, Sean L. Bowman, and Stergios I. Roumeliotis, "Towards Consistent Vision-Aided Inertial Navigation", University of Minnesota, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.
- [4] Ghazaleh Panahandeh · Seth Hutchinson Peter Handel · Magnus Jansson, "Planar-Based Visual Inertial Navigation Observability Analysis and Motion Estimation", Springer Science Business Media Dordrecht 2015.