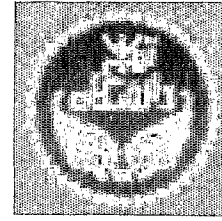
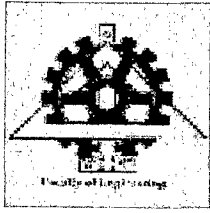


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٧١٦٩٣



۱۳۸۲ / ۴ / ۲۰

**دانشگاه تهران**

**دانشکده فنی**

**گروه مهندسی برق و کامپیوتر**

رئیس هیئت مدیره  
موسسه تخصصی  
مهندسی برق

عنوان:

**استفاده از ترکیب اطلاعات سنسوری در بهبود**

**دقت تیر موشک**

نگارش:

**ابراهیم شهیدزاده**

**استاد راهنما: دکتر بهزاد مشیری**

**استاد مشاور: دکتر علی خاکی صدیق**

پایان نامه جهت دریافت کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش کنترل

۴۵۹۲۷

**زمستان ۱۳۸۱**

## دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

موضوع:

### استفاده از ترکیب اطلاعات سنسوری در بهبود دقت تیر موشک

نگارش:

ابراهیم شهیدزاده

پایان نامه جهت دریافت کارشناسی ارشد

در رشته ی مهندسی برق گرایش کنترل

از این پایان نامه در تاریخ ۱۳۸۱/۱۱/۲۷ در مقابل هیئت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| مدیر گروه آموزش:            | دکتر پرویز جبه دار مارالانی |
| سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه: | دکتر حمید رضا جمالی         |
| استاد راهنما:               | دکتر بهزاد مشیری            |
| استاد مشاور:                | دکتر علی خاکی صدیق          |
| عضو هیئت داوران:            | دکتر بابک نجار اعرابی       |
| عضو هیئت داوران:            | دکتر مجید نیلی احمد آبادی   |
| عضو هیئت داوران:            | دکتر ابوالقاسم نقاش         |

تقدیم به همه ی کسانی که با مجاهدت های خاموش خود راه  
آزادی، امنیت و عدالت را برای استقرار حکومت جهانی اش، هموار  
کرده و می کنند: برادرانم شهید دکتر مصطفی شهیدزاده، شهید  
اسماعیل شهیدزاده...

## سپاس گزاری

### من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

بعد از سپاس از خداوند متعال و تمام رسولان او، و ائمه ی اطهار و تمامی شهدا، به خصوص شهدای دفاع مقدس، امام خمینی (ره) و هم‌چنین تمامی کسانی که در استقرار حکومت اسلامی در این مرز و بوم مخلصانه کوشش کرده اند و می‌کنند، بر خود لازم می‌دانم که در این جا از استادان عزیزم آقایان دکتر مشیری و پروفسور خاکی صدیق که هم در دوران تحصیلات کارشناسی ارشد از کلاس‌های پر بار آن‌ها بهره‌ها بردم و هم‌چنین در طول اجرای این تحقیق از هیچ کمکی مضایقه ننموده‌اند، نهایت تشکر و قدردانی را بنمایم. بی شک بدون همکاری مسئولین و کارکنان محترم گروه صنایع شهید باکری و صنایع شهید خرازی انجام این پروژه مهم امکان پذیر نبود. به خصوص، در این جا از آقایان مهندسین اخلاقی کتابچی، فرجی، قهرمانی، رادفر، غفاری و سهیلی و تمامی کسانی که در اجرا و پیاده سازی تست میدانی موفق این تحقیق، حقیر را چه به لحاظ مادی و معنوی کمک نموده‌اند، سپاسگزاری نمایم. در پایان از صبر و حمایت‌های کلیه ی اعضای خانواده عزیزم، به خصوص محمد حسین، که در طول تحصیل متحمل رنج و مشقت‌های فراوانی شده‌اند، سپاسگزاری نمایم.

ابراهیم شهیدزاده

زمستان ۱۳۸۱

## چکیده

در این پایان نامه پس از معرفی تئوری ترکیب اطلاعات سنسوری و مزایای آن، به چند کاربرد نظامی آن اشاره شده است. پس از آن به بیان تفصیلی و پیاده سازی عملی ترکیب اطلاعات سنسورهای تعیین موقعیت اینرسی (IMU)INS و GPS و GLONASS، بایک الگوریتم خاص و ارزان قیمت برای افزایش دقت تیر موشک می پردازیم. هدف از این تحقیق استفاده از یک الگوریتم نوین در ترکیب اطلاعات سنسورهای فوق در ناوبری موشک می باشد به گونه ای که در نهایت دقت اصابت موشک به دقت سنسور (گیرنده) GPS/GLONASS برسد چرا که در موشک هایی که ناوبری آن بر مبنای اینرسی است، واحد اندازه گیر (IMU)، موقعیت موشک را، مستقل از سایر منابع خارجی تعیین می کند و در موشک های دور برد خطای ناوبری به شدت افزایش می یابد. در این حالت می توان از اطلاعات سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GPS و GLONASS، جهت کاهش خطای ناوبری استفاده نمود. در این مقاله روش جدیدی جهت ترکیب اطلاعات سنسور های فوق، به گونه ای آرایه می گردد که، نهایتاً دقت ناوبری موشک به دقت سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای به رسد. با افزایش دقت تیر موشک، قیمت آن ها افزایش می یابد و کلاس این موشک ها نیز بالا می رود.

این گیرنده سنسوری است که با استفاده از فیلتر کالمن یک مرحله ترکیب اطلاعات سنسوری را انجام داده و خروجی آن را به یک دقت بهتری می رساند. پس از اجرای الگوریتم ترکیب اطلاعات گیرنده ی GPS/GLONASS با IMU، نشان داده می شود که ناوبری چگونه با دقت زیادی به دقت گیرنده GPS/GLONASS نزدیک شده است. این در حالی است که با افزایش زمان در طول ناوبری خطای IMU زیاد می شود ولی خطای گیرنده در محدوده ی خاصی تغییر می کند. نتایج حاصل از تست میدانی بیان گر آن است که برای ناوبری موشک های برد متوسط، در شرایط عادی، این الگوریتم بسیار مناسب می باشد. لازم به ذکر است که توسط سیستم ناوبری اینرسی موقعیت و سرعت اجسام متحرک، با انتگرال گیری از شتاب های متحرک در دستگاه مختصات مرجع

مناسب، محاسبه می‌گردد. این داده‌ها در سیستم ناوبری اینرسی، به صورت پیوسته و بدون ارتباط با دنیای خارج محاسبه می‌گردد. سیستم ناوبری اینرسی دارای این عیب است که با گذشت زمان، خطای آن بسته به نوع شتاب‌سنج و جایروسکوپی که در آن استفاده می‌شود، به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد. بنابراین ناوبری اینرسی برای زمان‌های طولانی پروازی مناسب نمی‌باشد. اما در عوض به دلیل این که با دنیای خارج خود هیچ ارتباط مخابراتی و الکتریکی ندارد، از لحاظ امنیتی هیچ اغتشاشی نمی‌تواند روی آن تأثیر گذارد. در مقابل سیستم‌های تعیین موقعیت ماهواره‌های GLONASS, GPS دارای خطای محدود و دقت خوبی می‌باشند. لذا این سیستم‌های برای ناوبری‌های طولانی مدت در شرایط مساعد، مناسب می‌باشند. اما این سیستم‌ها می‌توانند توسط گردانندگان آن مورد اغتشاش قرار گیرد. در این پروژه برای استفاده حداکثر مزایای این سیستم‌ها و اجتناب از معایب آن‌ها از تئوری ترکیب اطلاعات سنسوری استفاده گردید. به این ترتیب که اولین گام، انتخاب گیرنده‌ای بود که هم بتواند با استفاده از اطلاعات ماهواره‌های GPS و هم GLONASS تعیین موقعیت را انجام دهد و هم بتواند اطلاعات این دو سیستم را با یک فیلتر کالمن بهینه نماید. گام دوم طراحی الگوریتمی بود که با توجه به محدودیت‌های کامپیوتر پرواز موشک، بتواند در حداقل زمان و کم‌ترین حجم محاسبات، این اطلاعات را با اطلاعات IMU ترکیب نماید. این الگوریتم به این گونه عمل می‌نماید که در پایان هر ثانیه، اطلاعات بهینه شده‌ی گیرنده را که، از این به بعد آن را GPS/GLONASS می‌نامیم، را با اطلاعات IMU مقایسه می‌کند سپس تفاوت آن‌ها را با یک ضریب بسیار کوچک، کاهش می‌دهد. آن‌گاه IMU ناوبری را با این مدار جدید ادامه می‌داد. این روال در هر ثانیه در طول ناوبری تکرار می‌گردید. نتیجه این الگوریتم ترکیب در تست میدانی، بیان‌گر دقت بسیار خوب این نوع ناوبری بوده است و نتیجتاً دقت اصابت تیر موشک را در پی خواهد داشت.

فصل اول - مقدمه

|    |  |
|----|--|
| ۲  | ۱-۱- مبانی تئوری ترکیب اطلاعات سنسوری.....               |
| ۳  | ۱-۱-۱- مفاهیم مهم ترکیب اطلاعات سنسوری.....              |
| ۳  | ۱-۱-۲- سطوح مختلف ترکیب اطلاعات سنسوری.....              |
| ۴  | ۱-۲- کاربردهای ترکیب اطلاعات سنسوری در عملیات دفاعی..... |
| ۴  | ۱-۲-۱- سیستم ضد زیردریایی.....                           |
| ۵  | ۱-۲-۲- جنگ افزارهای هوایی تاکتیکی.....                   |
| ۶  | ۱-۲-۳- میدان نبرد زمینی.....                             |
| ۷  | ۱-۲-۴- ترکیب اطلاعات برای مین یابی.....                  |
| ۸  | ۱-۲-۵- هدایت هلی کوپتر.....                              |
| ۹  | ۱-۲-۶- هدایت زیردریایی بدون خلبان.....                   |
| ۱۰ | ۱-۲-۷- مبانی ترکیب اطلاعات سنسوری در انسان.....          |
| ۱۰ | ۱-۳- ناوبری.....   |
| ۱۰ | ۱-۴- انواع سیستم‌هایی ناوبری.....                        |
| ۱۱ | ۱-۵- ترکیب سیستم‌هایی ناوبری.....                        |
| ۱۲ | ۱-۶- کارهای گذشته.....                                   |
| ۱۳ | ۱-۷- ساختار پایان نامه.....                              |
| ۱۴ | فصل دوم - مبانی ریاضی سیستم‌های تعیین موقعیت اینرسی..... |
| ۱۵ | ۱-۲- مقدمه.....  |
| ۱۵ | ۲-۲- دستگاه‌های مختصات مورد استفاده در ناوبری.....       |
| ۱۹ | ۳-۲- تبدیل دستگاه‌های مختصات.....                        |
| ۱۹ | ۱-۳-۲- ماتریس کسینوس هادی DCM.....                       |
| ۲۰ | ۲-۳-۲- زوایای اوپلر.....                                 |
| ۲۱ | ۳-۳-۲- محاسبه ی کواترنین ها.....                         |
| ۲۴ | ۴-۳-۲- تبدیل مختصات بدنی به مختصات ناوبری.....           |
| ۲۵ | ۴-۲- معادلات حرکت در دستگاه مختصات دوار.....             |



|    |   |
|----|---|
|    | <b>فصل ۳- معرفی سیستم‌هایی موقعیت یاب جهانی GPS و</b>                                     |
| ۲۸ | <b>..... GLONASS</b>  |
| ۲۹ | ..... ۱-۳- مقدمه  |
| ۲۹ | ..... ۲-۳- معرفی سیستم موقعیت یاب جهانی GPS   |
| ۲۹ | ..... ۳-۳- ساختار مداری منظومه های ماهواره های GPS  |
|    | ..... ۴-۳- رؤیت پذیری ماهواره‌های GPS و GLONASS و پوشش‌دهی سطح                            |
| ۳۱ | ..... زمین توسط آن‌ها   |
| ۳۶ | ..... ۵-۳- معرفی کلی GLONASS  |
| ۴۰ | ..... ۶-۳- مقایسه ی GPS و GLONASS   |
| ۴۱ | ..... ۱-۶-۳- دستگاه های مختصات مرجع در GPS و GLONASS                                      |
| ۴۱ | ..... ۲-۶-۳- سیگنال ها و نوع تفکیک آن‌ها  |
| ۴۲ | ..... ۳-۶-۳- ماهیت پیغام ناوبری   |
| ۴۴ | ..... ۷-۳- مبانی تحلیلی و ریاضی GPS   |
| ۴۵ | ..... ۱-۷-۳- شروط رویت شدن ماهواره های GPS  |
| ۴۸ | ..... ۲-۷-۳- منابع خطا در GPS و GLONASS   |
| ۵۰ | <b>فصل ۴- سیستم ناوبری اینرسی (IMU) و معادلات حاکم بر آن‌ها.....</b>                      |
| ۵۱ | ..... ۱-۴- مقدمه  |
| ۵۱ | ..... ۲-۴- ژيروسکوپ تنظیم شونده‌ی دینامیکی (DTG)  |
| ۵۳ | ..... ۳-۴- شتاب‌سنج   |
| ۵۴ | ..... ۴-۴- مدل سازی ژيروسکوپ دو درجه آزادی  |
| ۵۵ | ..... ۵-۴- مدل سازی شتاب سنج حلقه بسته  |
| ۵۷ | <b>فصل ۵- ترکیب اطلاعات سنسورهای GPS و (IMU) INS.....</b>                                 |
| ۵۸ | ..... ۱-۵- مقدمه  |
| ۵۸ | ..... ۲-۵- انواع روش‌های ترکیب اطلاعات سنسورهای GPS و (IMU) INS                           |
| ۵۹ | ..... ۱-۲-۵- ترکیب متوالی اطلاعات سنسورهای GPS و (IMU) INS با استفاده از فیلتر کالمن..... |

|    |  |
|----|--|
| ۵۹ | ۲-۲-۵- ترکیب کامل اطلاعات سنسورهای GPS و INS (IMU) با استفاده از فیلتر کالمن.....  |
| ۶۰ | ۳-۲-۵- ترکیب متوالی اطلاعات سنسورهای GPS و INS (IMU) با استفاده از فیلتر کالمن و استفاده از تکنیک سنکرون کردن زمان GPS و INS (IMU) (برای دینامیک های شدید پروازی)..... |
| ۶۱ | ۴-۲-۵- ترکیب متوالی اطلاعات سنسورهای GPS و INS (IMU) با استفاده از فیلتر کالمن و منطق فازی برای مواقعی که اغتشاشات محدود در GPS ایجاد شود.....                         |
| ۶۲ | ۵-۲-۵- ترکیب متوالی اطلاعات سنسورهای INS (IMU) و GPS و GLONASS بدون استفاده از فیلتر کالمن (روش جدید).....   |
| ۶۳ | ۳-۵- شرح برنامه ها و 'الگوریتم های به کار رفته در این پروژه(تحلیل، شبیه سازی، پیاده سازی واقعی).....   |
| ۶۳ | ۱-۳-۵- توصیف چگونگی محاسبه ی خطا در این الگوریتم جدید.....   |
| ۶۵ | ۲-۳-۵- تحلیل مبانی ریاضی الگوریتم جدید برای تصحیح خطای تعیین موقعیت جسم متحرک.....   |
| ۶۷ | ۳-۳-۵- نتایج حاصل از شبیه سازی الگوریتم ترکیب جدید.....  |
| ۷۰ | ۴-۵- پیاده سازی عملی ترکیب اطلاعات سنسورهای فوق، با الگوریتم جدید در میدان تست و بررسی نتایج آن برای یک شی متحرک.....  |
| ۷۴ | ۵-۵- خلاصه و نتیجه گیری.....   |

|    |   |
|----|---|
| ۷۵ | ..... فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات   |
| ۷۷ | ..... مراجع   |
| ۸۰ | ..... پیوست‌ها  |
| ۸۰ | الف - برنامه‌های ترکیب اطلاعات سنسورهای IMU و گیرنده<br>..... GPS/GLONASS   |
| ۸۶ | ب - متن مقاله‌ی پذیرفته شده ناشی از این تحقیق در چهارمین کنفرانس<br>انجمن هوا - فضای ایران در بهمن سال ۱۳۸۱ تحت عنوان «استفاده از<br>ترکیب اطلاعات سنسوری برای بهبود دقت تیر موشک های دور<br>..... برد» |

## لیست شکل‌ها

|    |  |
|----|--|
| ۵  | شکل ۱-۱: ترکیب اطلاعات سنسوری در سیستم ضد زیردریایی.....   |
| ۶  | شکل ۱-۲: ترکیب سنسوری در جنگ افزارهای هوایی تاکتیکی.....   |
| ۷  | شکل ۱-۳: ترکیب سنسوری در میدان نبرد زمینی.....   |
| ۹  | شکل ۱-۴: استفاده از ترکیب اطلاعات سنسوری در زیردریایی بدون خلبان با استفاده از رؤیت‌گر غیرخطی (فیلتر کالمن تعمیم یافته)..... |
| ۱۶ | شکل ۱-۲: نمایش سیستم ECEF.....   |
| ۱۷ | شکل ۲-۲: بیضی‌گون مبنا و مختصات جغرافیایی.....   |
| ۱۸ | شکل ۲-۳: نمایش دستگاه مختصات بدنی.....   |
| ۱۸ | شکل ۲-۴: زاویه ی آزیموت.....   |
| ۱۹ | شکل ۲-۵: زاویه ی Elevation.....  |
| ۲۱ | شکل ۲-۶: زوایای اوپلر $\psi, \theta, \phi$ .....   |
| ۲۵ | شکل ۲-۷: استفاده از زوایای اوپلر در تبدیل دستگاه بدنی به ناوبری.....   |
| ۲۶ | شکل ۲-۸: دستگاه های مختصات $(X, Y, Z)$ و $(x, y, z)$ .....   |
| ۳۲ | شکل ۱-۳: رد زمینی ماهواره ی GPS B <sub>1</sub> از منظومه ماهواره‌ای GPS، طی یک شبانه روز.....                                |
| ۳۳ | شکل ۲-۳: رد زمینی ماهواره ی GLONASS ۷۸، از منظومه ی ماهواره های GLONASS، طی یک شبانه‌روز.....                                |
| ۳۶ | شکل ۳-۳: موقعیت ماهواره GPS و کاربر زمینی و زاویه ی فراز آنتن مربوط به آن.....   |
| ۳۹ | شکل ۳-۴: نحوه ی قرار گرفتن ماهواره‌ها در منظومه GLONASS.....   |
| ۴۴ | شکل ۳-۵: مشخصات مداری ماهواره GPS.....   |
| ۴۵ | شکل ۳-۶: موقعیت ماهواره های GPS نسبت به گیرنده.....  |
| ۴۶ | شکل ۳-۷: مقطع نصف النهاری کره ی زمین.....  |
| ۵۲ | شکل ۴-۱: نمای روتور، قاب و محور در ژيروسکوپ DT.....  |
| ۵۳ | شکل ۴-۲: بلوک دیاگرام حلقه تعادلی ژيروسکوپ DT.....   |
| ۵۳ | شکل ۴-۳: نمای شتاب سنج پاندولی حلقه بسته.....  |
| ۵۵ | شکل ۴-۴: نمودار ساده ی یک شتاب سنج حلقه بسته نمودار ساده ی یک شتاب سنج حلقه بسته.....  |
| ۵۹ | شکل ۵-۱: بلوک دیاگرام ترکیب متوالی GPS و IMU.....  |
| ۶۰ | شکل ۵-۲: ترکیب کامل اطلاعات سنسور های تعیین موقعیت ماهواره‌ای و IMU.....   |

|    |  |
|----|--|
| ۶۱ | شکل ۳-۵: بلوک دیاگرام روش ۴-۲-۵ (روش هموار سازی و پیش گویی) .....      |
|    | شکل ۴-۵: عملکرد هموار سازی اغتشاش بر اساس روش ۴-۲-۵ (روش هموار         |
| ۶۱ | سازی و پیش گویی) .....   |
| ۶۲ | شکل ۵-۵: عملکرد پیش بینی و هموار سازی اغتشاش بر اساس روش ۴-۲-۵         |
|    | شکل ۶-۵: بلوک دیاگرام ساده ی روش ۵-۲-۵ (روش ترکیب بدون استفاده از      |
| ۶۲ | فیلتر کالمن).....  |
|    | شکل ۷-۵: بلوک دیاگرام محاسبه ی خطای اندازه گیری گیرنده ی               |
| ۶۵ | GPS/GLONASS و GPS/GLONASS/IMU .....                                    |
|    | شکل ۸-۵: نتیجه شبیه سازی الگوریتم در حالت نوسانی و بدون حضور نویز      |
| ۶۸ | شکل ۹-۵: نتیجه شبیه سازی الگوریتم در حالت پایدار و بدون حضور نویز..... |
| ۶۹ | شکل ۱۰-۵: نتیجه شبیه سازی الگوریتم در حالت نوسانی و با حضور نویز.....  |
| ۷۰ | شکل ۱۱-۵: نتیجه شبیه سازی الگوریتم در حالت پایدار و با حضور نویز.....  |
|    | شکل ۱۲-۵: نمودار تغییرات مکانی گیرنده ی GPS/GLONASS و IMU              |
| ۷۱ | در محور $R_X$ در میدان تست عملی.....                                   |
|    | شکل ۱۳-۵: نمودار تغییرات مکانی گیرنده ی GPS/GLONASS و IMU              |
| ۷۱ | در محور $R_Y$ در میدان تست عملی.....                                   |
|    | شکل ۱۴-۵: نمودار تغییرات مکانی گیرنده ی GPS/GLONASS و IMU              |
| ۷۲ | در محور $R_Z$ در میدان تست عملی.....                                   |
|    | شکل ۱۵-۵: نمودار تغییرات سرعت گیرنده ی GPS/GLONASS و IMU               |
| ۷۲ | در محور $V_X$ در میدان تست عملی.....                                   |
|    | شکل ۱۶-۵: نمودار تغییرات سرعت گیرنده ی GPS/GLONASS و IMU               |
| ۷۳ | در محور $V_Y$ در میدان تست عملی.....                                   |
|    | شکل ۱۷-۵: نمودار تغییرات سرعت گیرنده ی GPS/GLONASS و IMU               |
| ۷۳ | در محور $V_Z$ در میدان تست عملی.....                                   |
|    | شکل ۱۸-۵: نمودار تغییرات زاویه ای گیرنده ی GPS/GLONASS و               |
| ۷۳ | IMU در محور Pitch در میدان تست عملی.....                               |

|    |  |
|----|--|
| ۷۴ | شکل ۵-۱۹: نمودار تغییرات زاویه ای گیرنده ی GPS/GLONASS و IMU در محور Roll در میدان تست عملی..... |
| ۷۴ | شکل ۵-۲۰: نمودار تغییرات زاویه ای گیرنده ی GPS/GLONASS و IMU در محور Yaw در میدان تست عملی.....  |

# فصل اول

## مقدمه