۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

**پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق– الکترونیک**

# سیستم ناوبری مبتنی بر تصویر برای پهپاد (هواپیمای بدون سرنشین)

**توسط:**

**مهرداد مرادنژاد سرخکلایی**

**استاد راهنما:**

**دکتر هوشنگ حسیبی**

**پاییز ۱۳۸۹**

بسم الله الرحمن الرحیم

پشت این پنجره، علم،

چتر شک دستشه وُ از آفتاب حرف می‌زنه!

با کتِ وارونه در بابِ حواس!

با کفشِ لِنگه به لِنگه در بابِ جهت!

با هیاهو در بابِ سکوت، تِز می‌ده!

پشتِ این پنجره جز **هیچ بزرگ** هیچی نیست!

حسین پناهی

# تأییدیه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان‌نامه **آقای مهرداد مرادنژاد** را با عنوان ***سیستم ناوبری مبتنی بر تصویر برای پهپاد (هواپیمای بدون سرنشین)*** از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی‌ارشد در رشته الکترونیک تأیید می‌کند.

| **اعضای هیئت داوران** | **نام و نام خانوادگی** | **رتبه علمی** | **امضاء** |
|---|---|---|---|
| ۱ -استاد راهنما | | | |
| ۲ -استاد ممتحن | | | |
| ۳ -استاد ممتحن | | | |
| ۴ -نماینده تحصیلات تکمیلی | | | |

**تقدیم به**

همسر عزیزم

و ستاره های پرفروغ زندگی

سپهر و ستایش

# اظهارنامه دانشجو

موضوع رساله: **سیستم ناوبری مبتنی بر تصویر برای پهباد (هواپیمای بدون سرنشین)**

**استاد راهنما:** دکتر هوشنگ حسیبی

**نام دانشجو:** مهرداد مرادنژاد

**شماره دانشجویی:** ۸۶۰۰۸۵۴

اینجانب **مهرداد مرادنژاد** دانشجوی دوره کارشناسی‌ارشد **مهندسی برق-الکترونیک** دانشکده **مهندسی برق** دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این رساله توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در رساله تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن رساله، چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

**امضاء دانشجو:**

**تاریخ:**

# فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این رساله متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری به صورت کل رساله یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی برق دانشگاه خواجه‌نصیرالدین‌طوسی مجاز می‌باشد. ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه خواجه‌نصیرالدین‌طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

# ***تشکر و قدردانی***

ازجناب آقای **دکتر هوشنگ حسیبی** به خاطر راهنمایی‌های ارزنده ایشان در طول انجام پروژه تشکر و قدردانی می‌کنم.

## چکیده

پهپاد (UAV[1]) یا پرنده‌های بدون سرنشین شامل آن دسته از هواپیماهایی هستند که یا توسط اپراتور زمینی و یا در یک مسیر از پیش تعیین شده پرواز می‌کنند.

برای هدایت پهپاد می‌توان از ناوبری ماهواره‌ای جی‌پی‌اس[2] و گلوناس[3] یا سیستم ناوبری اینرسی استفاده کرد. با وجود دقت خوب و مقرون به صرفه بودن استفاده از ناوبری ماهواره‌ای، وابستگی ناوبری پهپاد به یک سیستم خارجی در شرایط جنگی به دلایل مسایل فنی و سیاسی ممکن است امکان‌پذیر نباشد. همچنین سیستم ناوبری اینرسی به دلیل اینکه خطایش با گذشت زمان افزایش می‌یابد قابل اعتماد نیست.

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. در این روش تصاویری از مسیر پرواز پهپاد در کامپیوتر آن ذخیره شده و در طی مسیر، تصاویر دریافتی از طریق دوربین همراه پهپاد با تصویر ذخیره شده تطبیق داده می‌شود.

با توجه به اینکه هدف این پروژه ناوبری مبتنی بر تصویر پهپاد است، لذا محیطی که در آن ناوبری صورت می‌گیرد، محیطی فاقد ساختار است. ناوبری در چنین محیطی بر اساس استخراج ویژگی‌هایی خاص از تصاویر ذخیره شده در پهپاد و تصاویر دریافتی توسط دوربین است.


---

[1] Unmanned Aerial Vehicles
[2] GPS
[3] GLONASS

اصلی‌ترین مراحل در ناوبری مبتنی بر تصویر که این پروژه نیز بر آن‌ها تاکید خواهد داشت انتخاب و استخراج این ویژگی‌ها، توصیف ویژگی‌های استخراج شده به گونه‌ای که به راحتی از یکدیگر قابل تفکیک باشند و سرانجام تناظریابی 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 تغییر زاویه دوربین نیز حاصل می‌شود.

برای توصیف ویژگی‌های استخراج شده، با استفاده از اطلاعات محلی تصویر، یک بردار 128 × 1 به هر ویژگی اختصاص داده می‌شود.

در مرحله تناظریابی با توجه به ابعاد بالای بردارهای ویژگی، از الگوریتم BBF که بهبود یافته الگوریتم k-dTree است، استفاده شده است.

کلمات کلیدی:

پهپاد، ناوبری مبتنی بر تصویر، فضای مقیاس، SIFT

# فهرست


**فصل اول: مقدمه ..... ۱**

پهباد، ویژگی‌ها و محدودیت‌ها ..... ۲

روش‌های ناوبری مبتنی بر تصویر ..... ۴

موقعیت‌یابی و نقشه‌یابی هم‌زمان ..... ۶

مرور اجمالی کارهای انجام شده ..... ۹

نتیجه‌گیری ..... ۱۳

ساختارپایان‌نامه ..... ۱۳

**فصل دوم: ساختار چشم انسان ..... ۱۴**

مقدمه ..... ۱۵

بررسی نحوه عملکرد چشم انسان در برابر منبع نور ..... ۱۵

لایه‌های شبکیه ..... ۱۶

بررسی شبکیه از لحاظ مدار عصبی ..... ۱۶

آناتومی شبکیه ..... ۲۰

پردازش موازی ..... ۲۱

نتیجه‌گیری ..... ۲۵

**فصل سوم: فضای مقیاس ..... ۲۶**

مقدمه ..... ۲۷

فضای مقیاس ..... ۲۸

تشخیص لبه ..... ۳۲

نتیجه‌گیری ..... ۳۸

**فصل چهارم: استخراج نقاط کلیدی ..... ۳۹**

مقدمه ..... ۴۰

بیان ریاضی فضای مقیاس ..... ۴۱

رابطه بین $D(x,y,\sigma)$ و $\sigma^2\nabla^2 G$ ..... ۴۴
فضای مقیاس گاوسی ..... ۴۵
آشکارسازی نقاط اکسترمم محلی ..... ۴۶
مکان‌یابی صحیح نقاط کلیدی ..... ۴۷
حذف پاسخ لبه‌ها ..... ۵۱
تخصیص جهت ..... ۵۴
توصیف‌گر نقطه کلیدی ..... ۵۵
تناظریابی نقاط کلیدی ..... ۵۹
خوشه‌بندی نقاط کلیدی ..... ۶۹
استخراج پارامترهای افاین ..... ۷۶
**فصل پنجم: نتایج عملی ..... ۷۹**
مقدمه ..... ۸۰
بانک اطلاعات تصویر ..... ۸۰
پیش پردازش تصویر ورودی ..... ۸۱
هرم گاوسی و تصاویر تفاضلی گاوسی ..... ۸۲
نمایش تعداد نقاط اکسترمم ..... ۸۴
ارزیابی الگوریتم در برابر چرخش ..... ۸۵
ارزیابی الگوریتم در برابر محوشدگی ..... ۸۸
ارزیابی الگوریتم در برابر تغییرات روشنایی ..... ۹۰
ارزیابی الگوریتم در برابر تغییر مقیاس ..... ۹۲
ارزیابی الگوریتم در برابر نویز ..... ۹۳
ارزیابی الگوریتم در برابر شرایط کلی ..... ۹۵
نتیجه‌گیری ..... ۹۵
**فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ..... ۹۶**
خلاصه ..... ۹۷
نتیجه‌گیری ..... ۹۷

پیشنهادات و کارهای آینده ..... ۹۸
**مراجع ..... ۱۰۰**

# فهرست شکل‌ها


شکل۱-۱: ناوبری به روش SLAM ..... ۷

شکل۲-۱: اجزای شبکیه به صورت لایه‌های گسسته روی هم قرار گرفته‌اند. نور از قسمت پایین وارد می‌شود ..... ۱۷

شکل۲-۲: موقعیت شبکیه و لایه‌هایش در چشم. نکته شگفت‌آور این است که نور قبل از رسیدن به استوانه‌ها و مخروط‌ها از سلول‌های عقده‌ای و دوقطبی می‌گذرد ..... ۱۷

شکل۲-۳: نحوه تولید پتانسیل هیپرپلاریزه. در معرض نور بر اثر جاری شدن یون‌های سدیم با بار مثبت از داخل غشا به خارج آن، ولتاژ غشا نسبت به حالت عادی منفی‌تر می‌شود. ..... ۱۹

شکل۲-۴: نمونه‌ای از طرز قرار گرفتن استوانه‌ها، سلول‌های افقی (H)، یک سلول دوقطبی (B) و یک سلول عقده‌ای (G) در شبکیه که تحریک شدن را در سیناپس‌های بین استوانه‌ها و سلول‌های افقی اما مهار شدن را در بین سلول‌های افقی و سلول‌های دوقطبی نشان می‌دهد. ..... ۲۱

شکل۲-۵: سلول‌های افقی اطلاعات را از تعداد زیادی مخروط گرفته و بر روی سیگنال‌های سلول‌های دوقطبی با افزودن یک سیگنال محیطی مخالف سیگنال دوقطبی اثر می‌گذارند. سلول‌های افقی بر روی سلول‌های دو قطبی به صورت مستقیم یا به صورت فیدبک بر روی اطلاعات مخروط‌ها یا هر دو حالت اثر می‌گذارند. ..... ۲۳

شکل۲-۶: سلول‌های آماکرین با تجمیع اطلاعات چندین سلول دوقطبی موجب بهبود بیشتر کنتراست و کیفیت دید می‌شوند. ..... ۲۴

شکل۲-۷: شبکیه انسان دو نوع سلول عقده‌ای دارد (روشن‌مرکز و خاموش‌مرکز) سلول‌های روشن‌مرکز وقتی که یک اشعه نور در مرکز میدان گیرندگی‌اش باشد فعال می‌شود در حالی که سلول‌های خاموش‌مرکز وقتی فعال می‌شوند که اشعه نور در پیرامون میدان گیرندگی‌اش باشد و مرکزش تاریک باشد. سلول‌های افقی سیگنال‌های محیطی مخالف را به سلول‌های دوقطبی و در نتیجه به سلول‌های عقده‌ای می‌افزایند. بنابراین سلول‌های عقده‌ای میدان گیرندگی شبیه کلاه مکزیکی دارند. این موضوع موجب تیزتر شدن مرز بین تصاویر و لبه‌ها می‌شود. در فووآ (سمت راست) به خاطر این که بین سلول‌های عقده‌ای و مخروط‌ها تناظر یک به یک برقرار است میدان گیرندگی باریک‌تر است. ..... ۲۴

شکل۳-۱: تصویری از برگ درخت در چند مقیاس ..... ۲۸

شکل۳-۲: تشخیص لبه در یک سیگنال یک‌بعدی. لبه‌ها در نقاط $x_0$و$x_1$ معادل نقاط اکسترمم تابع $f'_c(x)$ و نقاط عبور از صفر در تابع $f''_c(x)$ هستند. نقطه $x_p$ لبه صوری است ..... ۳۳

شکل۴-۱: در هر اکتاو از فضای مقیاس، تصویر ورودی با توابع گاوسی برای ایجاد تصاویر فضای مقیاس کانوالو می‌شود. ..... ۴۳

شکل۴-۲: تصاویر فضای مقیاس (بالا) و تفاضلی گاوسی (پایین) تصویر هوایی دانشکده برق ..... ۴۳

شکل۴-۳: نقاط اکسترمم تصاویر تفاضلی گاوسی با مقایسه هر پیکسل (مشخص شده با × ) با ۲۶همسایه‌اش در تصویر فعلی و تصاویر مقیاس‌های مجاور (مشخص شده با دایره) به دست می‌آیند. ..... ۴۷

شکل۴-۴: هر نقطه اکسترممی را نمی‌توان به عنوان نقطه کلیدی پذیرفت. شکل‌های الف، ب و ج نمایش نقاط اکسترمم غیرقابل قبول و شکل د نمایش یک نقطه اکسترمم قابل قبول به عنوان نقطه کلیدی هستند. ..... ۴۸

شکل۴-۵: نقاط اکسترمم به دست آمده لزوماً منطبق بر نقاط اکسترمم واقعی نیستند. ۴۸

شکل۴-۶: یک ناحیه $3 \times 3$ از تصویر ۴۹

شکل۴-۷: رابطه بین مقادیر ویژه ماتریس هسین و انحناهای اساسی ۵۲

شکل۴-۸: الف) ناحیه‌ای به ابعاد $16 \times 16$ که به شبکه‌های $4 \times 4$ تقسیم شده است، حول نقطه کلیدی در نظر گرفته می‌شود. جهت و اندازه گرادیان هر نقطه این ناحیه محاسبه شده و با یک تابع گاوسی وزن‌دار می‌شود. ب) دوران ناحیه متناسب با جهت نقطه کلیدی ج) هیستوگرام جهتی با ۸جهت برای هر شبکه محاسبه می‌شود. د) با توجه به اینکه ناحیه به شبکه‌های $4 \times 4$ تقسیم شده و برای هر شبکه ۸جهت در نظر گرفته شد، بردار توصیف‌گر $128 = 8 \times 4 \times 4$ مؤلفه دارد ۵۷

شکل۴-۹: الف) نحوه به دست آوردن وزن بزرگی هیستوگرام ب) نحوه به دست آوردن وزن بزرگی زوایای گرادیان نقاط ۵۸

شکل۴-۱۰: الف) نمایش نحوه ساخت درخت. انتخاب بعد دارای بیشترین پراکندگی به عنوان بعد افراز و انتخاب میانه نقاط هر ناحیه به عنوان نقطه افراز. $L_i$ بیانگر شماره ترتیب خطوط افراز است. ب) نمایش درخت نقاط الف. بسته به تعداد و توزیع نقاط برخی گره‌های پایانی فاقد نقطه هستند. ۶۲

شکل۴-۱۰: ج) نزدیک‌ترین همسایه در داخل ابرمستطیل حاوی نقطه جستجو یا در یکی از ابرمستطیل‌های مجاورش قرار دارد. ۶۵

شکل۴-۱۰: د و ه) بررسی ابرمستطیل‌های مجاور برای پیدا کردن نزدیک‌ترین همسایه ۶۶

شکل۴-۱۰: و) با بهینه‌سازی مبتنی بر BBF، ابرمستطیل‌های نزدیک‌تر به نقطه جستجو زودتر بررسی می‌شوند. ۶۸

شکل۴-۱۱: نحوه محاسبه فاصله ابرمستطیل‌های گره‌های میانی از نقطه q ۶۸

شکل۴-۱۲: الف) نمایش قطبی خط ب) تبدیل هاف خط در فضای پارامتر ج) نمایش یک مجموعه نقاط هم راستا د) تبدیل هاف نقاط شکلج ۷۲

شکل۵-۱: تصویر مرجع آزمون الگوریتم ۸۱

شکل۵-۲: نقاط کلیدی پایدار الف) با اعمال پیش پردازش. تعداد کلیدی پایدار ۶۶۲نقطه ب) بدون اعمال پیش پردازش تعداد نقاط کلیدی پایدار ۷۶نقطه ۸۲

شکل۵-۳: تصاویر اکتاو اول و دوم تصویر ۸۳

شکل۵-۴: تصاویر تفاضلی گاوسی اکتاو اول و دوم ۸۳

شکل۵-۵: الف) نقاط اکسترمم به دست آمده به تعداد ۱۹۱۶نقطه ب) پس از حذف نقاط با کنتراست پایین ج) پس از حذف نقاط لبه ۸۵

شکل۵-۶: نتایج آزمون الگوریتم در برابر چرخش. نمایش تعداد نقاط متناظر درست در برابر تعداد نقاط متناظر تشخیص داده شده توسط الگوریتم ۸۶

شکل۵-۷: نتایج آزمون الگوریتم در برابر چرخش. نمایش ارتباط بین زاویه چرخش و نسبت درستی ۸۷

شکل۵-۸: نتایج آزمون الگوریتم در برابر چرخش. نمایش ارتباط بین زاویه چرخش واقعی و زاویه به دست آمده از الگوریتم ۸۸

شکل۵-۹: تصویر مرجع (ردیف اول) و تصاویر محو شده با فیلتر گاوسی مورد استفاده در آزمون با شعاع 0.25 تا 2.25 پیکسل به ترتیب از سمت چپ ردیف دوم ۸۹

شکل۵-۱۰: تعداد نقاط کلیدی متناظر بین تصویر مرجع و تصاویر محو شده ..... ۹۰
شکل۵-۱۱: تصاویر مورد استفاده در آزمون تغییرات شدت روشنایی. تصاویر سمت چپ افزایش شدت روشنایی و تصاویر سمت راست کاهش شدت روشنایی (به ترتیب از بالا به پایین) ..... ۹۱
شکل۵-۱۲: تعداد نقاط کلیدی متناظر تصاویر با شدت روشنایی مختلف با تصویر مرجع ..... ۹۲
شکل۵-۱۳: تعداد نقاط کلیدی در تصاویر با مقیاس مختلف نسبت به تصویر مرجع ..... ۹۳
شکل۵-۱۴: تعداد نقاط کلیدی متناظر تصویر مرجع با تصاویر با نویز گاوسی ..... ۹۴

# فهرست جدول‌ها

جدول۵-۱:مقادیر به دست آمده از مقایسه تصویر مرجع با تصویر تغییر یافته در شرایط کلی ..... ۹۵

# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱- پهپاد، ویژگی‌ها و محدودیت‌ها

پهپاد[۱] یا پرنده‌های بدون سرنشین شامل آن دسته از هواپیماهایی هستند که یا توسط اپراتور زمینی و یا در یک مسیر از پیش تعیین شده پرواز می‌کنند. سطح مقطع راداری کم، سرعت پایین، ارتفاع پروازی کم و علائم راداری نه چندان زیاد، آن‌ها را جهت شناسایی و مورد هدف قرار دادن مشکل ساخته است. علاوه بر این دلایل، تلاش برای توسعه سیستم‌ها و ادوات جنگی به سمت سیستم‌های بدون عامل انسانی موجب توجه ویژه کشورها به پهپاد شده است. [1]

برای هدایت پهپاد می‌توان از ناوبری ماهواره‌ای جی‌پی‌اس[۲] یا گلوناس[۳] استفاده کرد. این راه علاوه بر دقت خوب، از نظر اقتصادی و تکنولوژیکی نیز مقرون به صرفه می‌باشد، اما مشکل آن وابستگی به ماهواره‌های ارسال کننده است. در صورتی که ماهواره از ارسال سیگنال باز ایستد یا اینکه سیگنال‌های

---

[۱] پهپاد از حروف اول «پرنده هدایت‌پذیر از راه دور» گرفته شده است.

[2] GPS

[3] GLONASS

ارسالی از ماهواره دچار اختلالات راداری[1] شوند، سیستم کارایی خود را از دست خواهد داد. بنابراین به دلیل مسائل فنی و سیاسی امکان استفاده از ناوبری ماهواره‌ای به خصوص در شرایط جنگی وجود ندارد. سیستم ناوبری اینرسی نیز با استفاده از حسگرهای اینرسی امکان تعیین بلادرنگ کامل پهپاد در شرایط مختلف و بدون نیاز به سیگنال خارجی را دارد ولی با گذشت زمان خطای سیستم افزایش می‌یابد. [2] 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. در این روش تصاویری از مسیر پرواز پهپاد در کامپیوتر آن ذخیره شده و در طی مسیر تصاویر دریافتی از طریق دوربین همراه پهپاد با تصویر ذخیره شده تطبیق داده می‌شود.

این شیوه می‌تواند جهت تصحیح خطای ناشی از ناوبری ماهواره‌ای یا اینرسی یا هدف‌گیری دقیق در زمان انجام مأموریت استفاده شود. در این صورت با استفاده از اطلاعات سایر سیستم‌های ناوبری، پهپاد در مسیر تقریبی و با دقت کم قرار گرفته و سپس با استفاده از ناوبری مبتنی بر تصویر با مقایسه سطح زیر پهپاد با داده‌های ذخیره شده در حافظه‌ی کامپیوتر آن، پهپاد محل خود را اصلاح کرده و روی مسیر دقیق قرار می‌گیرد.

با توجه به ابعاد کوچک پهپاد، در محموله و تجهیزاتی که توسط پهپاد حمل می‌شود محدودیت وجود دارد. به همین دلیل نمی‌توان از انواع حسگرهایی که در روبات‌های زمینی استفاده می‌شود (نظیر اسکنر لیزر) استفاده کرد. بنابراین با توجه به سبکی دوربین و همچنین قیمت پایین‌تر آن نسبت به سایر حسگرها، استفاده از دوربین در ناوبری پهپاد در سال‌های اخیر در کانون توجه پژوهشگران قرار گرفته

[1] jamming