دانشکده مهندسی هوافضا

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا در گرایش مهندسی فضایی

با عنوان :

طراحی سامانه هوشمند بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما

استاد راهنما :

دکتر مهران میرشمس

ارائه دهنده :

حمیدرضا ستاره

تابستان ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

با حمد و سپاس از خداوند متعال که بنده حقیر درگاه خود را مفتخر به علم آموزی نمود

پایان نامه تحصیلی خود را تقدیم به پدر و مادر مهربانم

که از آغاز تا انجام تمام مراحل تحصیلی ام

یار و یاورم بودند می نمایم.

حمیدرضا ستاره

شهریور ماه ۱۳۹۲ هجری خورشیدی

تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

تأییدیه هیأت داوران

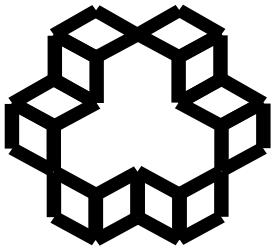
هیأت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان:

طراحی سامانه هوشمند بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما

توسط آقای **حمیدرضا ستاره** ، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته **مهندسی هوافضا** گرایش **مهندسی فضایی**

در تاریخ ...../ ...../ **۱۳**..... مورد تأیید قرار می‌هند.

۱- استاد راهنما:	جناب آقای **دکتر مهران میرشمس**	امضاء
۴- ممتحن داخلی اول:	جناب آقای **دکتر علیرضا نوین زاده**	امضاء
۵- ممتحن داخلی دوم:	جناب آقای **دکتر علی مظفری**	امضاء
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده:	جناب آقای **دکتر امیرعلی نیکخواه**	امضاء



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

اظهار نامه دانشجو

اینجانب **حمیدرضا ستاره** دانشجوی مقطع **کارشناسی‌ارشد** رشته **مهندسی هوافضا** گرایش **مهندسی فضایی** دانشکده **مهندسی هوافضا** دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان:

طراحی سامانه هوشمند بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر **مهران میرشمس** ، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی هوافضای دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در این پروژه، هدف معرفی انواع روش های موجود برای بالانس استاتیکی و دینامیکی شبیه ساز های وضعیت فضاپیما ها و نیز طراحی سامانه هوشمند بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما می باشد. در ابتدا با تشریح مسئله شبیه سازی، لزوم آن، ابزارهای آن، مزایا و مشکلات پیشروی آن، به معرفی انواع شبیه ساز های وضعیت موجود، نحوه عملکرد و زیر سیستم های کلی آنها پرداخته و سپس با تعریف مسئله بالانس جرمی، اهمیت و نحوه انجام آن، به معرفی و بررسی انواع روش های مرسوم و پرکاربرد برای آن و بر روی سامانه های شبیه ساز وضعیت فضاپیما خواهیم پرداخت. در نهایت با مقایسه این روش ها دیدگاه خود از روشی مناسب برای بالانس جرمی را ارائه خواهیم داد و روش مناسبی را پیش رو قرار داده و بالانسر هوشمند جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما را طراحی خواهیم کرد. بدین منظور نخست نرم افزار مناسبی جهت انجام بالانس هوشمند جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما طراحی کرده و سپس به بحث سخت افزاری آن خواهیم پرداخت.

کلید واژه : بالانس جرمی اتوماتیک، تست بد، سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما، اغتشاشات، گشتاور، مومنتم، کنترل تطبیقی، تخمین دسته ای

فهرست

فصل اول (آشنایی با سامانه های شبیه ساز سخت افزاری وضعیت فضاپیماها)

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ شبیه‌سازهای سخت‌افزاری ماهواره..... ۲

۱-۳ سامانه ی حرکت صفحه ای ۵

۱-۴ سامانه ی حرکت چرخشی ۶

۱-۵ سامانه های ترکیبی ۸

فصل دوم (بالانس جرمی و اهمیت آن در سامانه های شبیه ساز سخت افزاری وضعیت فضاپیماها و زیر سیستم های مورد نیاز برای آن)

۲-۱ مقدمه ۱۱

۲-۲ مفهوم بالانس جرمی و انواع آن ۱۱

۲-۳ بالانس استاتیکی شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۱۴

۲-۴ بالانس دینامیکی شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۱۵

۲-۵ استفاده از روش های مجازی در بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۱۶

۲-۶ بررسی کلی ساختار سامانه ۱۷

۲-۷ عناصر اصلی و زیرسیستم های شبیه ساز ۱۹

۲-۷-۱ میز قرار گیری تجهیزات ۲۰

۲-۷-۲ یاتاقان هوایی کروی ۲۰

۲-۷-۳ حسگرهای وضعیت ۲۱

۲-۷-۳-۱ دستگاه اندازه گیری اینرسی ۲۱

۲-۷-۳-۲ مغناطیس سنج های سه محوره ۲۲

۲-۷-۳-۳ حسگر خورشیدی ۲۳

۲-۷-۳-۴ حسگر زمین ۲۳

۲-۷-۴ چرخهای مومنتمی و عکس العملی ۲۴

۲-۷-۵ کویل های مغناطیسی ۲۴

۲-۷-۶ ارتباطات بی سیم و سامانه ی مونیتورینگ ۲۵

۲-۷-۷ رایانه ی مستقر بر روی شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۲۶

۲-۸ سیستم بالانس جرمی ۲۷

۲-۹ محدوده ی عملکرد حسگرها و عملگرها ۲۷

۲-۱۰ معرفی شبیه ساز وضعیت فضاپیما در آزمایشگاه تحقیقات فضایی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۲۸

۲-۱۱ نتیجه گیری..... ۳۵

فصل سوم (بیان و بررسی روش های بالانس جرمی سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما)

۳-۱ مقدمه ۳۷

۳-۲ سامانه ی هوشمند بالانس جرمی ۳۹

۳-۳ روش تخمینی در دستیابی به موقعیت مختصاتی مرکز جرم ۴۲

۳-۴ کنترل تطبیقی سیستم اتوماتیک بالانس جرم شبیه ساز فضاپیما ۴۵

۳-۵ معرفی شبیه ساز رله دو کانونی آینه ای در دانشگاهNPS ۵۳

۳-۶ آزمایشات بالانس اتوماتیک جرم بر روی شبیه ساز رله دو کانونی آینه ای در دانشگاه *NPS*..... ۵۷

۳-۷ نتیجه گیری ۶۸

فصل چهارم (معرفی انواع روش های موجود برای بالانس هوشمند جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما)

۴-۱ بررسی روش های موجود بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت ۷۰

۴-۲ نتیجه گیری ۷۳

فصل پنجم (طراحی سامانه هوشمند بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما)

۵-۱ مقدمه..... ۷۶

۵-۲ اصول کلی عملکرد سامانه..... ۷۶

۵-۳ سیستم الکترونیکی..... ۷۷

۵-۴ پردازنده های DSP..... ۷۷

۵-۴-۱ ساختار معماری Harvard درون DSP ها..... ۷۸

۵-۵ FPGA..... ۷۸

۵-۵-۱ اهم دلایل استفاده از FPGA در این پروژه..... ۷۹

۵-۵-۲ مهمترین نقص قابل ذکر برای FPGA..... ۸۰

۵-۶ بلوک دیاگرام عملکرد سامانه هوشمند جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما..... ۸۰

۵-۶-۱ سنسورهای اندازه گیری زاویه..... ۸۱

۵-۷ معماری و طراحی سامانه هوشمند بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما..... ۸۳

۵-۸ طراحی نرم افزار شبیه ساز روند بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما (SRL_BS100).....۹۱

۵-۸-۱ نحوه اجرای نرم افزار ۹۵

۵-۸-۲ توضیحات نرم افزار ۹۶

۵-۸-۳ بررسی صحت نتیجه حاصل از پردازش مجازی نرم افزار.....۹۸

۵-۸-۴ نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد.....۱۱۵

مراجع ۱۱۶

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱- الف- شبیه‌ساز میزی (چتری) ب- شبیه‌ساز دمبلی.....۵

شکل ۱-۲- شکل a بیانگر شیوه چتری و شکل b بیانگر شیوه میزی.....۷

شکل ۱-۳- مدل دمبلی ۸

شکل ۲-۱- نحوه تاثیر نابالانس استاتیکی در قرارگیری جسم چرخان.....۱۵

شکل ۲-۲- ساختمان سازه اصلی شبیه ساز میزی ۱۸

شکل ۲-۳- شکل شماتیکی یک نمونه از سکوی شبیه ساز میزی و تجهیزات قرار گرفته بر روی آن ۱۹

شکل ۲-۴- یک نمونه از یاتاقان نیمه کروی و نیز استکانی شبیه ساز میزی ۲۱

شکل ۲-۵- یک نمونه از دستگاه اندازه گیری اینرسی که در برگیرنده شتاب سنج، ژیروسکوپ و فیلتر هدایت سیگنال می باشد ۲۲

شکل ۲-۶- نمای یک نمونه حسگر خورشیدی آنالوگ ۲۳

شکل ۲-۷- نوعی از چیدمان حسگرهای زمینی بر روی میز شبیه ساز جهت سنجش دو محوره وضعیت آن ۲۴

شکل ۲-۸- سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما به همراه سیستم بالانس جرمی دو محوره، قطب نمای الکترونیکی، یک میکرو کنترلر و دو کویل مغناطیسی ۲۵

شکل ۲-۹- فضای نمونه از یک نرم افزار مونیتورینگ ۲۶

شکل ۲-۱۰- نمای شماتیکی کلی از ارتباط بین زیر سیستم های شبیه ساز تعیین وضعیت فضاپیما ۲۶

شکل ۲-۱۱- عملگرهای مستقر بر روی سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما..... ۲۷

شکل ۲-۱۲-شبیه ساز دمبلی آزمایشگاه تحقیقات فضایی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی..... ۳۰

شکل ۲-۱۳- شبیه ساز دمبلی آزمایشگاه تحقیقات فضایی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی..... ۳۱

شکل ۲-۱۴- شبیه ساز دمبلی آزمایشگاه تحقیقات فضایی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی..... ۳۱

شکل ۳-۱- نمای شماتیکی سامانه بالانس جرمی ۴۰

شکل ۳-۲- نمونه ای از حل به روش بردار خنثی ۴۹

شکل ۳-۳- تست بد آزمایشی در دانشگاه *NPS*..... ۵۳

شکل ۳-۴- نمای شماتیکی ارتباطی زیر سیستم های شبیه ساز وضعیت فضاپیما در دانشگاه *NPS* ۵۴

شکل ۳-۵-مقادیر بدست آمده از روش تخمین دسته ای در آزمایش تست بد دانشگاه *NPS*..... ۵۷

شکل ۳-۶- سمیت چپ بیانگر مسیر مومنتمی و اغتشاشات جاذبه ای در فضای مومنتمی نرمالیزه شده و سمت راست بیانگر مسیر مومنتمی و اغتشاشات جاذبه بعد از جبران انحراف مرکز جرم ۵۸

شکل ۳-۷- مسیر فضاپیما و زوایای گیمبال تست بد دانشگاه *NPS* ۵۸

شکل ۳-۸- مومنتم زاویه ای مطلوب و عملیاتی و خطای ردگیری مومنتم در تست بد دانشگاه *NPS*..... ۶۰

شکل ۳-۹- موقعیت مرکز جرم در آزمایشات تست بد دانشگاه *NPS*..... ۶۱

شکل ۳-۱۰- موقعیت مرکز جرم با شرایط اولیه جدید در آزمایشات دانشگاه *NPS*..... ۶۲

شکل ۳-۱۱- خطای ردگیری مومنتم زاویه ای با شرایط اولیه جدید جرم های بالانسردر تست بد دانشگاه *NPS*..... ۶۴

شکل ۳-۱۲- مسیر مومنتمی و اغتشاشات جاذبه ای بعد از از بین بردن انحراف مرکز جرم در تست بد دانشگاه *NPS* ۶۵

شکل ۵-۱- ساختار معماری درونی DSP ۷۸

شکل ۵-۲- طراحی کلی سامانه هوشمند بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما..... ۸۱

شکل ۵-۳- ژیروسکوپ مکانیکی ۸۳

شکل ۵-۴- دیاگرام عملکرد واحد انتقال دهنده یا Transmitter..... ۸۶

شکل ۵-۵- دیاگرام عملکرد واحد گیرنده Receiver..... ۸۶

شکل ۵-۶- نمایش نحوه ساخت و اتصال ریل جابجا کننده جرم به موتور پله ای بالانسر ۸۸

شکل ۵-۷ تصویر محیط نرم افزار طراحی شده برای انجام روند بالانس هوشمند جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۹۵

شکل ۵-۸ نمودارهای تغییر زوایای ψ,θ,ϕ شبیه ساز وضعیت فضاپیما بر حسب زمان ۱۰۳

شکل ۵-۹ نمودارهای تغییر سرعت های زاویه ای q,p، r در دستگاه بدنی شبیه ساز قبل از اعمال نویز ۱۰۴

شکل ۵-۱۰ نمودارهای تغییر سرعت های زاویه ای q,p، r در دستگاه بدنی شبیه ساز بعد از اعمال نویز ۱۰۶

شکل ۵-۱۱ نمودار های میزان انحراف مرکز جرم از مرکز دوران شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۱۰۷

شکل ۵-۱۲ نمودارهای پسماند مومنتم بر روی شبیه ساز وضعیت فضاپیما در هر لحظه از روند بالانس هوشمند جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۱۰۹

شکل ۵-۱۳ نمودارهای پسماند مومنتم بر روی شبیه ساز وضعیت فضاپیما آزمایشگاه تحقیقات فضایی در هر لحظه از روند بالانس هوشمند جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۱۱۱

شکل ۵-۱۴ نمودارهای پسماند مومنتم بر روی شبیه ساز وضعیت فضاپیما آزمایشگاه تحقیقات فضایی در هر لحظه از روند بالانس هوشمند جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۱۱۲

فهرست جداول

جدول ۲-۱-دسته بندی گشتاور های اغتشاشی موجود بر روی یک یاتاقان هوایی به همراه عوامل ایجاد آنها..... ۱۱

جدول ۲-۲- مقایسه بین عملگرهای مستقر شده بر روی سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۲۸

جدول ۲-۳- محدوده عملکرد و دقت برخی از حسگرهای سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما..... ۲۸

جدول ۲-۴- مشخصات دو نمونه شبیه ساز دمبلی آزمایشگاه تحقیقات فضایی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۳۲

جدول ۳-۱- مقایسه گشتاور اغتشاشی جاذبه در بالانس اتوماتیک جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما در دانشگاه *NPS*..... ۶۶

جدول ۴-۱- دسته بندی روش های بالانس اتوماتیک جرمی..... ۶۹

جدول ۵-۱- بررسی تاثیر تغییر متغییر های بالانس جرمی برروی نتایج حاصل از بالانس جرمی شبیه ساز وضعیت فضاپیما آزمایشگاه تحقیقات فضایی..... ۱۱۳

فهرست نمودار ها

نمودار ۳-۱- مومنتم زاویه ای بر حسب زمان در روند بالانس جرمی سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما ۵۰

نمودار ۳-۲- از بین رفتن انحراف مرکز جرم نسبت به مرکز دوران بر حسب زمان در روند بالانس جرمی سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما دانشگاه *NPS* بدون اعمال تحرک دائمی ۵۱

نمودار ۳-۳- اختلاف مومنتم زاویه ای موجود با الگوی مومنتم اعمالی برای تحرک بر حسب زمان در روند بالانس جرمی سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما در دانشگاه *NPS* ۵۱

نمودار ۳-۴-از بین رفتن انحراف مرکز جرم بر حسب زمان در روند بالانس جرمی سامانه شبیه ساز وضعیت فضاپیما با اعمال تحرک دائمی در دانشگاه *NPS*..... ۵۲

فهرست علائم

میزان جابه جایی جرم های بالانسر i ام	d_i
ماتریس بردار جرمی	G
بردار جاذبه	$\mathbf{g}$
ممان کلی شبیه ساز وضعیت فضاپیما	H
بردار اندازه حرکت زاویه ای	$\boldsymbol{h}_i$
ممان اینرسی شبیه ساز وضعیت فضاپیما	J
ممان اینرسی شبیه ساز وضعیت فضاپیما بدون در نظر قرار دادن جرم های بالانسر	J_s
ماتریس اینرسی	$\tilde{J}$
ماتریس متقارن مثبت	K
بردار گشتاور	M
جرم کل شبیه ساز وضعیت فضاپیما	m
جرم بالانسر i ام	m_i
بردار مرکز جرم بالانسر i ام	R_i
راستای حرکت جرم بالانسر i ام	u_i
تابع کاندید لیاپانوف	V
عامل مشتق	δ
بردار مکان جرم بالانسر i ام	ρ_i
عامل کنترلی در تابع لیاپانوف	τ
سرعت زاویه ای شبیه ساز وضعیت فضاپیما	ω

شتاب زاویه ای شبیه ساز وضعیت فضاپیما	$\dot{\omega}$
ماتریس متقارن مثبت	Γ
میزان تغییرات	Δ
ماتریس ω	Ω

فصل اول

آشنایی با سامانه های شبیه ساز سخت افزاری وضعیت فضاپیماها

۱-۱) مقدمه

در این فصل قصد داریم تا ضمن بیان اهمیت و جایگاه شبیه سازی در وضعیت سامانه های فضایی، به بیان نحوه اجرای آن و اقدامات صورت گرفته در راستای آن و نیز معرفی زیر سیستم های لازم برای آن بپردازیم.

۱-۲) شبیه‌سازهای سخت‌افزاری ماهواره(تست‌بد[1])

شبیه سازهای زمین پایه فضاپیما، ابزاری مفید برای گسترش و بررسی قوانین جدید کنترلی جهت نیازهای فضاپیما های مدرن می باشد. شبیه سازی پرواز و دینامیک وضعیت فضاپیما بر روی زمین امری بسیار مناسب و مفید است چراکه سنجش وضعیت و انجام آزمایشات دینامیکی پرواز فضاپیما در محیط فضا بسیار دشوار و پرهزینه می باشد. از طرفی انجام این آزمایشات بر روی زمین به میزان قابل توجهی ریسک پذیری پروژه فضایی را کاهش می دهد. [۱]

راه حل های زیادی در انجام شبیه سازی محیط عملکردی فضاپیما وجود دارد.شبیه سازی از طریق دمش هوایی تنها یکی از این شیوه ها می باشد. این شیوه اگرچه متداول می باشد اما از دقت بسیار بالایی در شبیه سازی حرکات کوچک برخوردار نمی باشد. همچنین تاثیرات نیروی جاذبه زمین نیز در این شبیه سازی ها قابل چشم پوشی نمی باشد. نیرو ها و گشتاورهای اعمالی از طرف محیط عملکرد فضاپیما نیز باید در شبیه سازی منظور گردد که برای دست یابی به این مقصود سیستم تعلیق (آویزش) مغناطیسی و وسایل ایجاد نیروی جاذبه مورد استفاده قرار می گیرد، اما ذکر این نکته لازم است که چنین سیستم هایی تنها توان تولید گشتاورهایی با نرخ اندک را با تغییر دمش هوایی دارند، بنابراین تنها برای دامنه کوچکی از تغییرات پیشنهاد می شوند. در حقیقت شبیه سازی با استفاده از سکوی دمش هوایی شرایط آزمایش را در جابه جایی ها و چرخش های کوچک فضاپیما فراهم می کند. تنظیم فشار برای ایجاد دمش هوایی جهت شبیه سازی از طریق سوراخ های موجود بر روی سکوی زمینی موجود در آزمایشگاه صورت می گیرد.یک سیستم تنظیم فشار برای یک محموله فضایی چندین هزار پوندی، تنها نیازمند پشتیبانی از فشاری در حدود ۱۰۰psi و نرخ جابه جایی هوا در حدود چند فوت مکعب در دقیقه است. دستگاه دمش هوا بر روی کره مدل یا همان یاتاقان های هوایی، یکی از متداول ترین وسایل آزمایش و شبیه سازی حرکت دینامیکی فضاپیما می باشند، چراکه امکان شبیه سازی حرکات چرخشی را برای تست مدل و نمونه آزمایشی فراهم می کنند. [۲]،[۱]

[1]Testbed