

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
وَأَنبَأْتُكُمُ الْبَشِيرَ وَالنَّازِحَ
الْحَقُّ الْحَقُّ الْحَقُّ الْحَقُّ الْحَقُّ



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای سیدحسام سجادی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان هدایت تعقیب نقاط گذر برای سیستم های کنترل ناکمینه فاز در تاریخ ۱۳۸۹/۶/۲۹ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - هوافضا پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر سیدحمید جلالی نائینی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر مجید محمدی مقدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر وحید جوهری مجد	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر امیر رضا کوثری	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر مجید محمدی مقدم	دانشیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی

دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

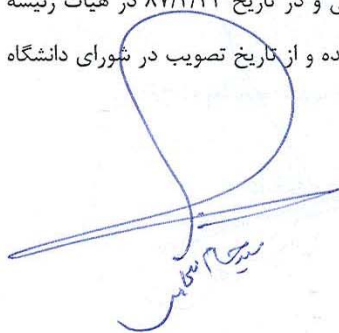
ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه می باشد، باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.



آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی هوافضا- دینامیک پرواز است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر سید حمید جلالی نائینی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب سید حسام سجادی دانشجوی رشته مهندسی هوافضا گرایش دینامیک پرواز مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سید حسام سجادی

تاریخ و امضا:





دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش دینامیک پرواز

هدایت تعقیب نقاط گذر برای سیستم‌های کنترل ناکمینه فاز

سید حسام سجادی

استاد راهنما:

دکتر سید حمید جلالی نائینی

شهریور ۸۹

تقدیم بہ مادر عزیزم بہ خاطر عشق و ورزی، باور داشتن،
(عاشای خیر و پرورش نعل ایمان و اعتقاد

تشکر و قدردانی

اکنون که با عنایت و لطف خداوند تبارک و تعالی و مولای غایب از دیده‌هایم، نگارش این پایان‌نامه به پایان رسیده، بر خود لازم می‌دانم از استاد گرامی جناب آقای دکتر سید حمید جلالی نائینی، که استاد راهنمای بنده در دوره کارشناسی ارشد بودند، به خاطر باور، کمک‌ها و راهنمایی‌های ارزنده‌شان تشکر کنم. همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد باقر ملائک به خاطر ایجاد و تهییج انگیزه نگرش و دید خلاقانه نسبت به مسائل آفرینش کمال تشکر را دارم. از پدر و مادر عزیزم به خاطر تحمل و صبوری در طول تحصیلات و ایجاد انگیزه و فضای مناسب و به خصوص ده‌های خیرشان که همواره بدرقه راه من در طول زندگی بودند، تشکر و قدردانی می‌کنم. از خداوند متعال برای همه این عزیزان سعادت، سلامت و عاقبت خیر مسالت دارم. "به راستی که دانش، مایه حیات دل‌ها، روشن کننده دیدگان کور و نیروبخش بدن‌های ناتوان است"^۱.

^۱ امام علی (علیه سلام)

چکیده

در این پایان نامه با استفاده از تئوری کنترل بهینه، حل بسته هدایت به منظور تعقیب نقاط گذر و مسیرهای داده شده برای سیستم‌های کنترل ناکمینه‌فاز مرتبه سوم ارائه شده است. برای دینامیک پرنده از مدل جرم نقطه‌ای استفاده شده است؛ اما سیستم کنترل آن به صورت یک تابع تبدیل معلوم فرض شده است. بعبارت دیگر، کل دینامیک وسیله پروازی از ورودی دستور شتاب تا خروجی شتاب مانور با یک تابع تبدیل رسته دوم و سوم مدل شده است. هدایت بهینه بدست آمده از تئوری کنترل بهینه، ورودی دستور شتاب را برای عبور وسیله پروازی از نقاط گذر معین با قید تعقیب مسیرهای مشخص، تعیین می‌کند. بر خلاف روش‌های موجود که برای سیستم‌های کنترل با توابع تبدیل ایده‌آل و رسته اول توسعه یافته است، روش پیشنهادی از توابع تبدیل رسته دوم و سوم ناکمینه‌فاز استفاده می‌کند. سیستم‌های ناکمینه‌فاز در پرنده‌هایی با سطوح کنترل دم مشاهده می‌شود. این نوع سیستم کنترلی باعث عکس‌العمل معکوس اولیه سیستم در مقابل تغییر ناگهانی دستور شتاب درخواستی به سیستم کنترل مفروض می‌شود. بررسی اولیه برای جرم نقطه‌ای نشان می‌دهد که قانون هدایت بهینه ناکمینه‌فاز پیشنهادی سبب افزایش دقت در ردیابی مسیر می‌شود. اما مقایسه دقت‌ها در یک محیط واقعی نیاز به تحقیق بیشتر و در نظر گرفتن اثر نویز و اغتشاش و طراحی مشاهده‌گر برای تخمین متغیرهای حالت در یک شبیه‌سازی شش درجه آزادی دارد.

کلید واژه: قانون هدایت، سیستم‌های ناکمینه‌فاز، هدایت تعقیب نقاط گذر، کنترل بهینه، هدایت تعقیب مسیر.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

ج	فهرست علایم و نشانه‌ها	.....
د	فهرست جدول‌ها	.....
و	فهرست شکل‌ها	.....
۱	فصل ۱- مقدمه	.....
۱-۱	۱-۱- پیشگفتار	.....
۲-۱	۲-۱- مروری بر تحقیقات انجام شده	.....
۳-۱	۳-۱- ساختار پایان‌نامه	.....
۶	فصل ۲- تعریف صورت مساله و نحوه مدلسازی	.....
۱-۲	۱-۲- مقدمه	.....
۲-۲	۲-۲- تعریف صورت مساله	.....
۳-۲	۳-۲- مدل سیستم کنترل و دینامیک پرنده	.....
۱-۳-۲	۱-۳-۲- مدل کنترل ایده‌آل	.....
۲-۳-۲	۲-۳-۲- مدل کنترل رسته یک	.....
۳-۳-۲	۳-۳-۲- مدل کنترل رسته دوم ناکمینه فاز	.....
۱-۳-۳-۲	۱-۳-۳-۲- سیستم‌های ناکمینه فاز	.....
۴-۳-۲	۴-۳-۲- مدل کنترل رسته سوم ناکمینه فاز	.....
۴-۲	۴-۲- نمایش بلوکی	.....
۵-۲	۵-۲- نتیجه‌گیری	.....
۱۸	فصل ۳- استخراج قوانین هدایت بر مبنای کنترل بهینه	.....
۱-۳	۱-۳- مقدمه	.....
۲-۳	۲-۳- کنترل بهینه	.....
۳-۳	۳-۳- هدایت بهینه برای سیستم کنترلی ایده‌آل	.....
۴-۳	۴-۳- هدایت بهینه برای سیستم کنترل رسته ۱	.....
۵-۳	۵-۳- استخراج قانون هدایت بهینه برای سیستم کنترل رسته ۲ ناکمینه فاز	.....
۶-۳	۶-۳- استخراج قانون هدایت بهینه برای سیستم کنترل رسته ۳ ناکمینه فاز	.....
۷-۳	۷-۳- مقایسه بین دستورهای شتاب استخراج شده	.....
۱-۷-۳	۱-۷-۳- بررسی عدم قطعیت برای سیستم کنترل رسته سوم ناکمینه فاز	.....
۸-۳	۸-۳- نتیجه‌گیری	.....
۷۶	فصل ۴- هدایت تعقیب نقاط گذر	.....

۷۶	مقدمه	۱-۴
۷۶	بررسی مسأله دو بعدی هدایت خط دید	۲-۴
۸۷	هدایت تعقیب نقاط گذر	۳-۴
۹۲	بررسی شتاب اشباع	۱-۳-۴
۹۵	نتیجه گیری	۴-۴
۹۶	نتیجه گیری و پیشنهادات	۵
۹۶	نتیجه گیری	۱-۵
۹۸	پیشنهادات	۲-۵
۹۹	فهرست مراجع	
۱۰۴	سیستم های ناکمینه فاز	ضمیمه أ
۱۱۶	حل معادلات درجه ۳	ضمیمه ب
۱۱۷	حل معادلات درجه ۴	ضمیمه ج
۱۱۸	کدهای شبیه سازی	ضمیمه د
۱۳۰	واژه نامه ی فارسی به انگلیسی	
۱۳۱	واژه نامه ی انگلیسی به فارسی	

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
زاویه سرعت با محور افقی	γ
زاویه مسیر با محور افقی	δ
ضریب لاگرانژ	λ
شتاب اجرا شده	a_c
ضریب وزنی	b
فاصله عمودی از خط دید	h
فاصله پرنده تا هدف	r
زمان نهایی	t_f
زمان باقیمانده تا رسیدن به هدف	t_{go}
ثابت زمانی	T
دستور شتاب	u
سرعت نزدیک شدن پرنده به هدف	V_c
سرعت پرنده	V_m

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱: مقادیر معیار عملکرد به ازای مقادیر مختلف b	۳۰
جدول ۳-۲: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته یک به ازای مقادیر مختلف T و $b = 0.1$	۴۲
جدول ۳-۳: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته یک به ازای مقادیر مختلف T و $b = 1$	۴۲
جدول ۳-۴: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته یک به ازای مقادیر مختلف T و $b = 10$	۴۲
جدول ۳-۵: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته دو به ازای مقادیر مختلف T برای $b = 0.1$	۴۷
جدول ۳-۶: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته دو به ازای مقادیر مختلف T برای $b = 1$	۴۷
جدول ۳-۷: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته دو به ازای مقادیر مختلف T برای $b = 10$	۴۷
جدول ۳-۸: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته دو به ازای مقادیر مختلف T برای $b = 1$	۵۲
جدول ۳-۹: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته سوم به ازای $b = 0.1$	۶۳
جدول ۳-۱۰: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته سوم به ازای $b = 1$	۶۳
جدول ۳-۱۱: مقادیر معیار عملکرد برای سیستم رسته سوم به ازای $b = 10$	۶۳
جدول ۳-۱۲: جدول حالت‌های مقایسه بین قوانین هدایت.....	۶۴
جدول ۳-۱۳: مقادیر ثابت زمانی برای دینامیک سیستم رسته دو برای مقایسه در حالت دوم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم ایده‌آل و دینامیک سیستم کنترل از رسته دوم ناکمینه فاز).....	۶۷
جدول ۳-۱۴: مقادیر ثابت زمانی برای دینامیک سیستم رسته دو برای مقایسه در حالت سوم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم رسته یک و دینامیک سیستم کنترل از رسته دوم ناکمینه فاز).....	۶۹
جدول ۳-۱۵: مقادیر ثابت زمانی برای دینامیک سیستم رسته دو برای مقایسه در حالت چهارم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم رسته یک و دینامیک سیستم کنترل از رسته دوم کمینه فاز).....	۷۱
جدول ۳-۱۶: مقادیر ثابت زمانی برای دینامیک سیستم رسته سوم برای مقایسه در حالت پنجم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم رسته یک و دینامیک سیستم کنترل از رسته سوم ناکمینه فاز).....	۷۱
جدول ۳-۱۷: پارامترهای سیستم رسته سوم ناکمینه فاز برای بررسی عدم قطعیت به ازای $b = 0.1$	۷۳
جدول ۴-۱: مختصات و سرعت اولیه پرنده.....	۷۸
جدول ۴-۲: مختصات نقطه گذر دوم.....	۷۸
جدول ۴-۳: مشخصات و نتایج شبیه‌سازی برای تخمین زمانی ثابت.....	۷۹
جدول ۴-۴: مشخصات و نتایج شبیه‌سازی برای تخمین زمانی به روز شده و سیستم کنترلی رسته دوم ناکمینه فاز.....	۷۹
جدول ۴-۵: مشخصات و نتایج شبیه‌سازی برای سیستم کنترلی رسته دوم ناکمینه فاز.....	۸۶

- جدول ۴-۶: مشخصات و نتایج شبیه‌سازی برای سیستم کنترلی رسته سوم ناکمینه فاز ۸۶
- جدول ۴-۷: مشخصات نقاط گذر ۸۷
- جدول ۴-۸: مشخصات و نتایج شبیه‌سازی تعقیب نقاط گذر برای سیستم کنترلی رسته سوم ناکمینه فاز ۸۷
- جدول ۴-۹: مشخصات پارامترهای سیستم کنترلی رسته سوم ناکمینه فاز ۹۱
- جدول ۴-۱۰: مشخصات نقاط گذر ۹۱
- جدول ۴-۱۱: نتایج شبیه‌سازی تعقیب نقاط گذر جدول ۴-۹ و جدول ۴-۱۰ برای سیستم کنترلی رسته سوم ناکمینه فاز ۹۲
- جدول ۴-۱۲: نتایج شبیه‌سازی تعقیب نقاط گذر جدول ۴-۹ و جدول ۴-۱۰ برای سیستم کنترلی رسته سوم ناکمینه فاز اشباع شده ۹۲

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: هندسه دو بعدی مسأله هدایت خط دید	۷
شکل ۲-۲: هندسه یک بعدی مسأله هدایت خط دید	۷
شکل ۳-۲: پاسخ تابع تبدیل (۱۷-۲) به ورودی پله	۱۳
شکل ۴-۲: نمایش بلوکی مسأله	۱۶
شکل ۱-۳: خطای دستور شتاب حلقه بسته و حلقه باز برای سیستم کنترلی ایده‌آل به ازای فاصله زمانی	
انتگرال‌گیری یکصدم ثانیه	۲۸
شکل ۲-۳: دستور شتاب حلقه بسته به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم کنترلی ایده‌آل	۲۹
شکل ۳-۳: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم کنترلی ایده‌آل	۲۹
شکل ۴-۳: دستور شتاب و شتاب اجرا شده برای سیستم با $T = 0.4$ و $b = 0.1$	۳۹
شکل ۵-۳: دستور شتاب و شتاب اجرا شده برای سیستم با $T = 0.7$ و $b = 10$	۳۹
شکل ۶-۳: دستور شتاب به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته یک با $T = 0.1$	۴۰
شکل ۷-۳: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته یک با $T = 0.1$	۴۰
شکل ۸-۳: دستور شتاب به ازای مقادیر مختلف T و به ازای $b = 1$	۴۱
شکل ۹-۳: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف T و به ازای $b = 1$	۴۱
شکل ۱۰-۳: دستور شتاب و شتاب اجرا شده برای سیستم با $T1, T2 = 0.3$ و $T3 = 0.4$ و $b = 0.1$	۴۸
شکل ۱۱-۳: دستور شتاب و شتاب اجرا شده برای سیستم با $T1, T2 = 0.3$ و $T3 = 0.4$ و $b = 1$	۴۸
شکل ۱۲-۳: دستور شتاب به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته دوم به ازای $T1, T2 = 0.3$ و $T3 = 0.1$	۴۹
شکل ۱۳-۳: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته دوم به ازای $T1, T2 = 0.3$ و $T3 = 0.1$	۴۹
شکل ۱۴-۳: دستور شتاب به ازای مقادیر مختلف $T3$ برای سیستم با $b = 1$ و $T1, T2 = 0.3$	۵۰
شکل ۱۵-۳: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف $T3$ برای سیستم با $b = 1$ و $T1, T2 = 0.3$	۵۰
شکل ۱۶-۳: دستور شتاب به ازای مقادیر مختلف $T1$ برای سیستم با $b = 1$ و $T2 = 0.3$ و $T3 = 0.1$	۵۱
شکل ۱۷-۳: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف $T1$ برای سیستم با $b = 1$ و $T2 = 0.3$ و $T3 = 0.1$	۵۱
شکل ۱۸-۳: تغییرات دستور شتاب حلقه بسته به خاطر عدم قطعیت در $T1$ برای سیستم با $b = 1$ (دستور شتاب براساس مقادیر موجود در ستون اول جدول ۳-۸ محاسبه شده است)	۵۳

- شکل ۳-۱۹: تغییرات مقدار فاصله عمودی از خط دید به خاطر عدم قطعیت در $T1$ برای سیستم با $b = 1$ (دستور شتاب براساس مقادیر موجود در ستون اول جدول ۳-۸ محاسبه شده است)..... ۵۳
- شکل ۳-۲۰: تغییرات دستور شتاب حلقه بسته به خاطر عدم قطعیت در $T3$ برای سیستم با $b = 1$ (دستور شتاب براساس مقادیر موجود در ستون اول جدول ۳-۸ محاسبه شده است)..... ۵۴
- شکل ۳-۲۱: تغییرات مقدار فاصله عمودی از خط دید به خاطر عدم قطعیت در $T3$ برای سیستم با $b = 1$ (دستور شتاب براساس مقادیر موجود در ستون اول جدول ۳-۸ محاسبه شده است)..... ۵۴
- شکل ۳-۲۲: دستور شتاب حلقه بسته به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم کنترلی رسته سوم با $\zeta = 0.5, \omega = 4, T1 = 0.1, T2 = 0.4$ و $T3 = 0.3$ ۶۰
- شکل ۳-۲۳: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم کنترلی رسته سوم با $\zeta = 0.5, \omega = 4, T1 = 0.1, T2 = 0.4$ و $T3 = 0.3$ ۶۰
- شکل ۳-۲۴: دستور شتاب حلقه بسته و شتاب اجرا شده برای سیستم کنترلی رسته سوم با $\zeta = 0.2, \omega = 4, T1 = 0.1, T2 = 0.4, T3 = 0.3$ و $b = 0.1$ ۶۱
- شکل ۳-۲۵: دستور شتاب حلقه بسته و شتاب اجرا شده برای سیستم کنترلی رسته سوم با $\zeta = 0.5, \omega = 4, T1 = 0.1, T2 = 0.4, T3 = 0.3$ و $b = 0.1$ ۶۱
- شکل ۳-۲۶: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف ζ برای سیستم کنترلی رسته سوم با $\omega = 4, T1 = 0.1, T2 = 0.4, T3 = 0.3$ و $b = 0.1$ ۶۲
- شکل ۳-۲۷: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف ω برای سیستم کنترلی رسته سوم با $\zeta = 0.5, T1 = 0.1, T2 = 0.4, T3 = 0.3$ و $b = 0.1$ ۶۲
- شکل ۳-۲۸: مقدار فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف $T1$ برای سیستم کنترلی رسته سوم با $\zeta = 0.5, \omega = 4, T2 = 0.4, T3 = 0.3$ و $b = 0.1$ ۶۳
- شکل ۳-۲۹: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت اول جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم ایده‌آل و دینامیک سیستم کنترل از رسته یک) به ازای $b = 0.1$ ۶۵
- شکل ۳-۳۰: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت اول جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم ایده‌آل و دینامیک سیستم کنترل از رسته یک) به ازای $b = 1$ ۶۵
- شکل ۳-۳۱: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت اول جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم ایده‌آل و دینامیک سیستم کنترل از رسته یک) به ازای $b = 10$ ۶۶
- شکل ۳-۳۲: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت دوم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم ایده‌آل و دینامیک سیستم کنترل از رسته دوم ناکمینه فاز) به ازای $b = 0.1$ و ثابت زمانی های درج شده در جدول ۳-۱۳..... ۶۷
- شکل ۳-۳۳: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت دوم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم ایده‌آل و دینامیک سیستم کنترل از رسته دوم ناکمینه فاز) به ازای $b = 1$ و ثابت زمانی های درج شده در جدول ۳-۱۳..... ۶۸

- شکل ۳-۳۴: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت دوم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم ایده‌آل و دینامیک سیستم کنترل از رسته دوم ناکمینه فاز) به ازای $b = 10$ و ثابت زمانی‌های درج شده در جدول ۳-۱۳ ۶۸
- شکل ۳-۳۵: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت سوم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم رسته یک و دینامیک سیستم کنترل از رسته دوم ناکمینه فاز) به ازای مشخصات درج شده در جدول ۳-۱۴ و برای $b = 0.1$ ۷۰
- شکل ۳-۳۶: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت چهارم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم رسته یک و دینامیک سیستم کنترل از رسته دوم کمینه فاز) به ازای مشخصات درج شده در جدول ۳-۱۵ و برای $b = 0.1$ ۷۰
- شکل ۳-۳۷: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت پنجم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت با فرض مدل سیستم رسته یک و دینامیک سیستم کنترل از رسته سوم ناکمینه فاز) به ازای مشخصات درج شده در جدول ۳-۱۶ و برای $b = 0.1$ ۷۲
- شکل ۳-۳۸: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی برای حالت ششم جدول ۳-۱۲ (قانون هدایت و دینامیک سیستم کنترل از رسته سوم ناکمینه فاز) به ازای مشخصات درج شده در جدول ۳-۱۶ و برای $b = 0.1$ ۷۲
- شکل ۳-۳۹: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی به خاطر عدم قطعیت در ω برای سیستم با قانون هدایت محاسبه شده با مشخصات درج شده در ستون اول جدول ۳-۱۷ و به ازای $b = 0.1$ ۷۴
- شکل ۳-۴۰: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی به خاطر عدم قطعیت در ζ برای سیستم با قانون هدایت محاسبه شده با مشخصات درج شده در ستون اول جدول ۳-۱۷ و به ازای $b = 0.1$ ۷۴
- شکل ۳-۴۱: مقدار فاصله نهایی برحسب زمان نهایی به خاطر عدم قطعیت در $T1$ برای سیستم با قانون هدایت محاسبه شده با مشخصات درج شده در ستون اول جدول ۳-۱۷ و به ازای $b = 0.1$ ۷۵
- شکل ۴-۱: هندسه دو بعدی مساله هدایت خط دید ۷۷
- شکل ۴-۲: دستور شتاب به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته دوم به ازای $T1, T2 = 0.4$ ، $T3 = 0.1$ و $\gamma_0 = 10^\circ$ ۸۱
- شکل ۴-۳: مسیر پرواز به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته دوم به ازای $T1, T2 = 0.4$ ، $T3 = 0.1$ و $\gamma_0 = 10^\circ$ ۸۱
- شکل ۴-۴: تغییر زاویه بردار سرعت با افق در طول پرواز به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته دوم به ازای $T1, T2 = 0.4$ ، $T3 = 0.1$ و $\gamma_0 = 10^\circ$ ۸۲
- شکل ۴-۵: تغییر سرعت افقی در طول پرواز به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته دوم به ازای $T1, T2 = 0.4$ ، $T3 = 0.1$ و $\gamma_0 = 10^\circ$ ۸۲
- شکل ۴-۶: تغییر سرعت عمودی در طول پرواز به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته دوم به ازای $T1, T2 = 0.4$ ، $T3 = 0.1$ و $\gamma_0 = 10^\circ$ ۸۳
- شکل ۴-۷: دستور شتاب به ازای مقادیر مختلف γ_0 برای سیستم رسته دوم به ازای $T1, T2 = 0.4$ ، $T3 = 0.1$ و $b = 0.1$ ۸۳

- شکل ۴-۸: مسیر پرواز به ازای مقادیر مختلف γ_0 برای سیستم رسته دوم به ازای $T_1, T_2 = 0.4$ ،
 $T_3 = 0.1$ و $b = 0.1$ ۸۴
- شکل ۴-۹: تغییر زاویه بردار سرعت با افق در طول پرواز به ازای مقادیر مختلف γ_0 برای سیستم رسته دوم
به ازای $T_1, T_2 = 0.4$ ، $T_3 = 0.1$ و $b = 0.1$ ۸۴
- شکل ۴-۱۰: تغییر سرعت افقی در طول پرواز به ازای مقادیر مختلف γ_0 برای سیستم رسته دوم به ازای
 $T_1, T_2 = 0.4$ ، $T_3 = 0.1$ و $b = 0.1$ ۸۵
- شکل ۴-۱۱: تغییر سرعت عمودی در طول پرواز به ازای مقادیر مختلف γ_0 برای سیستم رسته دوم به ازای
 $T_1, T_2 = 0.4$ ، $T_3 = 0.1$ و $b = 0.1$ ۸۵
- شکل ۴-۱۲: فاصله عمودی از خط دید به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته سوم ناکمینه فاز به
ازای $T_1 = 0.1$ ، $T_2 = 0.3$ ، $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 1$ و $\zeta = 0.5$ ۸۸
- شکل ۴-۱۳: دستور شتاب حلقه بسته به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته سوم ناکمینه فاز به ازای
 $T_1 = 0.1$ ، $T_2 = 0.3$ ، $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 1$ و $\zeta = 0.5$ ۸۸
- شکل ۴-۱۴: مسیر پرواز به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته سوم ناکمینه فاز به ازای $T_1 = 0.1$ ،
 $T_2 = 0.3$ ، $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 1$ و $\zeta = 0.5$ ۸۹
- شکل ۴-۱۵: تغییر زاویه بردار سرعت با افق در طول پرواز به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته سوم
ناکمینه فاز به ازای $T_1 = 0.1$ ، $T_2 = 0.3$ ، $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 1$ و $\zeta = 0.5$ ۸۹
- شکل ۴-۱۶: تغییر سرعت افقی در طول پرواز به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته سوم ناکمینه فاز
به ازای $T_1 = 0.1$ ، $T_2 = 0.3$ ، $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 1$ و $\zeta = 0.5$ ۹۰
- شکل ۴-۱۷: تغییر سرعت عمودی در طول پرواز به ازای مقادیر مختلف b برای سیستم رسته سوم ناکمینه
فاز به ازای $T_1 = 0.1$ ، $T_2 = 0.3$ ، $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 1$ و $\zeta = 0.5$ ۹۰
- شکل ۴-۱۸: دستور شتاب و شتاب اجرا شده برای سیستم کنترلی رسته سوم ناکمینه فاز به ازای
 $T_1 = 0.1$ ، $T_2 = 0.3$ ، $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 3$ و $\zeta = 0.2$ و $b = 10$ ۹۳
- شکل ۴-۱۹: مسیر پرواز برای سیستم کنترلی رسته سوم ناکمینه فاز به ازای $T_1 = 0.1$ ، $T_2 = 0.3$ ،
 $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 3$ و $\zeta = 0.2$ و $b = 10$ ۹۳
- شکل ۴-۲۰: دستور شتاب و شتاب اجرا شده برای سیستم کنترلی رسته سوم ناکمینه فاز اشباع شده به
ازای $T_1 = 0.1$ ، $T_2 = 0.3$ ، $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 3$ و $\zeta = 0.2$ و $b = 10$ ۹۴
- شکل ۴-۲۱: مسیر پرواز برای سیستم کنترلی رسته سوم ناکمینه فاز اشباع شده به ازای $T_1 = 0.1$ ،
 $T_2 = 0.3$ ، $T_3 = 0.2$ ، $\gamma_0 = 10^\circ$ ، $\omega = 3$ و $\zeta = 0.2$ و $b = 10$ ۹۴

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱ - پیشگفتار

بطور کلی قوانین هدایت^۱ به دو دسته هدایت دونقطه‌ای و سه‌نقطه‌ای تقسیم می‌شوند. به قوانین هدایت سه نقطه‌ای، هدایت خط دید^۲ نیز می‌گویند. قانون هدایت خط دید به علت سادگی اجرای آن در عمل، جزء اولین قوانین هدایتی وسایل پرنده بوده‌است. این سیستم عمدتاً کم هزینه بوده و از قابلیت اعتماد بالایی برخوردار است.

برای پیاده‌سازی قانون هدایت خط دید عمدتاً از روش‌های کنترل کلاسیک استفاده می‌شود. روش‌های کلاسیک علیرغم اینکه لزوماً مسیر بهینه را دنبال نمی‌کند به علت هزینه‌ی اجرایی کم و سهولت پیاده‌سازی توسط المان‌های آنالوگ، تا به حال بطور گسترده‌ای در هدایت خط دید مورد توجه بوده‌اند.

^۱ Guidance Law

^۲ Line of Sight

برای تعیین شتاب جانبی مورد نیاز، می‌توان از تئوری کنترل بهینه^۱ نیز استفاده نمود. اگر چه استفاده از تئوری کنترل بهینه معمولاً منجر به فرمول‌های پیچیده می‌شود، اما امروزه با استفاده از ریزپردازنده‌ها^۲، محدودیتی در پیاده‌سازی اینگونه روابط وجود ندارد.

در پژوهش و پایان‌نامه حاضر، با استفاده از تئوری کنترل بهینه، حل بسته^۳ هدایت خط دید با فرض سیستم‌های هدایت و کنترل رسته دوم و سوم ناکمینه فاز^۴ برای تعقیب نقاط گذر^۵ استخراج شده‌است. عملکرد قوانین هدایت استخراجی سیستم‌های کنترل با رسته بالاتر با عملکرد سیستم‌های کنترلی رسته‌های پایین‌تر مقایسه شده‌است. این مقایسه نشان می‌دهد که یکی از عوامل تاثیرگذار بر اجرای مناسب قانون هدایت، سیستم‌های ناکمینه فاز می‌باشد.

قوانین هدایت استخراجی برای تعقیب نقاط گذر و خط واصل بین آنها (خط دید) استفاده می‌گردد. نقاط گذر و مسیر ارتباطی در ابتدا توسط روش‌های مسیر یابی^۶ انتخاب می‌شود. برای پرواز بین دو نقطه به صورتی که در طول پرواز عاملی بهینه شود، مسیر قابل پرواز کردن باشد و از برخورد با موانع جلوگیری گردد؛ از روش‌هایی با عنوان برنامه‌ریزی مسیر استفاده می‌شود.

۱-۲ - مروری بر تحقیقات انجام شده

روش‌های برنامه‌ریزی مسیر از سالیان قبل مورد توجه محققان برای بهینه‌سازی حرکت و حداقل کردن خطای انسانی در جلوگیری کردن از برخورد با موانع می‌باشد اولین تلاش‌ها در اواخر سال ۱۹۶۰ برای حرکت روبات‌ها گزارش شده‌است.

¹ Optimal Control

² Microprocessor

³ Closed-Loop

⁴ NonMinimum Phase

⁵ Waypoint

⁶ Path Planning