دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه کنترل

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش کنترل

طراحی قانون هدایت در صفحه خط دید بر اساس تئوری پایداری زمان محدود

نگارش:

الهام بذرگرزاده

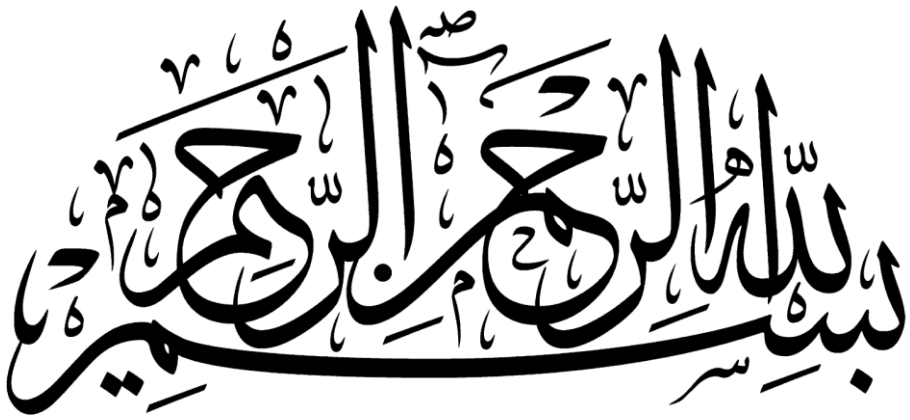
استاد راهنما:

دکتر طاهره بینازاده

استاد مشاور:

دکتر محمد حسین شفیعی

شهریور ۹۲


بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

طراحی قانون هدایت در صفحه خط دید بر اساس تئوری پایداری زمان محدود

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

نگارش:

الهام بذرگرزاده

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه کنترل دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر طاهره بینازاده استادیار در رشته مهندسی برق – کنترل (استاد راهنما)

دکتر محمد حسین شفیعی استادیار در رشته مهندسی برق - کنترل (استاد مشاور)

دکتر بهروز صفری نژادیان استادیار در رشته مهندسی برق - کنترل (داور)

دکتر جعفر زارعی استادیار در رشته مهندسی برق - کنترل (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانب الهام بذرگرزاده دانشجوی رشته برق کنترل مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی ۹۰۱۱۴۰۴۲ تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه/رساله، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/ رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: الهام بذرگرزاده

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

■ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر طاهره بینازاده

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

پدر و مادر عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جـام تعلـیم و تربیـت، فضـیلت و انسانیت ایشان بوده ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بـوده است.

تشکر و قدردانی:

اکنون که این رساله به پایان رسیده است برخود فرض می دانم که از استاد ارجمند سر کار خانم دکتر بینازاده که در کمال سعه صدر، با حسن خلـق و فروتنـی، از هـیچ کمکـی در ایـن عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛ از استاد صبور و با تقوا، جناب آقای دکتر شفیعی، که زحمت مشاوره این پایان نامـه را عهـده دار شـدند؛ و از استادان فرزانه و دلسوز؛ جناب آقایان دکتر صفری نژادیان و دکتر زارعی که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

طراحی قانون پایداری زمان محدود در صفحه خط دید بر اساس تئوری پایداری زمان محدود

نگارش:
الهام بذرگرزاده

طراحی قانون هدایت موشک به منظور برخورد با اهداف دارای قابلیت های مانور بالا، در این پایان نامه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. از بررسی فیزیک مساله هدایت مشخص می شود که در یک سناریوی موفق هدایت، رفتار پایدار برای تمامی متغیرهای حالت سیستم هدایت، کافی نیست؛ بلکه لازم است برخی متغیرها در زمان محدود به صفر رسیده و در آن وضعیت باقی بمانند و برخی دیگر صرفاً در قیودی صدق کنند. لذا از نقطه نظر عملی تنها برخی متغیرهای حالت سیستم هدایت آن هم در زمان محدود باید پایدار شوند. بر این مبنا در این پایان نامه به طراحی قانون هدایت بر اساس رویکرد پایدارسازی جزئی زمان محدود پرداخته شده است. در روند طراحی، بردار شتاب هدف به عنوان ورودی اغتشاشی در نظر گرفته شده و تنها باند بالای آن باید برای طراح معلوم باشد و لذا مانور هدف به هیچ فرم مشخص و از پیش تعیین شده ای محدود نشده است. هم چنین کارایی روش پیشنهاد شده در این پایان نامه در برخورد با اهداف دارای قابلیت های مانور بالا هم به لحاظ تئوری و هم توسط شبیه سازی نشان داده شده است.

واژه‌های کلیدی : پایداری جزئی، پایداری زمان محدود، قانون هدایت، موشک، هدف، خط دید

فهرست مطالب

۱.فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- مقدمه ۲

۲.فصل دوم: تعریف مساله **۵**

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- تعاریف، اصول و مبانی نظری ۶

۲-۳- مساله مطرح در این پایان نامه ۱۶

۲-۳-۱- پایداری جزئی : تعاریف و قضایا ۱۶

۲-۳-۲- پایداری زمان محدود : تعاریف و قضایا ۱۹

۲-۳-۳- پایداری جزئی زمان محدود ۲۱

۳.فصل سوم: مروری بر پژوهش های انجام شده در زمینه هدایت **۲۲**

۳-۱- هدایت در برابر اهداف بدون مانور و یا با مانور کم ۲۳

۳-۲- هدایت در برابر اهداف با مانور زیاد ۲۵

۳-۳- مشکلات و محدودیت های قانون های موجود ۲۷

۴.فصل چهارم: طراحی قانون هدایت بر اساس تئوری پایدارسازی جزئی زمان محدود برای اهداف بدون مانور **۲۹**

۴-۱- مقدمه ۳۰

۴-۲- تعریف مساله هدایت ۳۰

۴-۳- رفتار مطلوب هر یک از متغیرهای حالت سیستم هدایت ۳۳

۴-۴- طراحی قانون هدایت برای موشک های دارای کنترل بالک و کنترل زاویه نازل سوخت برای اهداف بدون مانور ۳۶

۴-۵- طراحی قانون هدایت برای اهداف بدون مانور برای موشک های دارای کنترل بالک... ۴۲

۵.فصل پنجم: طراحی قانون هدایت بر اساس تئوری پایدارسازی جزئی زمان محدود برای اهداف با مانور بالا **۴۸**

۵-۱- مقدمه ۴۹

۵-۲- طراحی قانون هدایت برای موشک های دارای کنترل بالک و کنترل زاویه نازل سوخت ۴۹

۵-۳- طراحی قانون هدایت برای موشک های دارای کنترل بالک ۵۶

۶.فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات **۶۱**
۶-۱- نتیجه گیری..... ۶۲
۶-۲- پیشنهادات..... ۶۳

مراجع **۶۴**

پیوست‌ها **۶۹**

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ نمونه ای از جستجوگر (حس گرهای داخلی)..... ۸
شکل ۲-۲ نمونه ای از ردیاب هدف (حس گرهای خارجی)..... ۸
شکل ۲-۳ اجزای حلقه هدایت و کنترل و ارتباطات بین آن ها..... ۱۱
شکل ۲-۴ حلقه هدایت..... ۱۱
شکل ۲-۵ مراحل هدایت یک موشک..... ۱۲
شکل ۲-۶ نمونه ای از هدایت موشک در فاز نهایی..... ۱۴
شکل ۲-۷ نحوه عملکرد هدایت دو نقطه ای..... ۱۵
شکل ۲-۸ نحوه عملکرد هدایت سه نقطه ای..... ۱۵
شکل ۲-۹ سیستم میل لنگ لغزنده..... ۱۷
شکل ۲-۱۰ سیستم بازوی ربات..... ۲۰
شکل ۳-۱ هندسه هدایت دو نقطه ای در صفحه..... ۲۴
شکل ۳-۲ انواع سیستم های ناوبری تناسبی..... ۲۴
شکل ۴-۱ دستگاه مختصات خط دید [۴۲]..... ۳۰
شکل ۴-۲ نواحی برخورد و عدم برخورد [۴۲]..... ۳۵
شکل ۴-۳ فاصله نسبی بین موشک و هدف ($x_1 = r(t)$)..... ۴۰
شکل ۴-۴ مولفه در راستای خط دید بردار سرعت نسبی ($x_2 = V_r$)..... ۴۰
شکل ۴-۵ مولفه عمود بر خط دید بردار سرعت نسبی ($x_3 = V_\theta$)..... ۴۱
شکل ۴-۶ مولفه بردار شتاب موشک در راستای خط دید u_r (m/s^2)..... ۴۱
شکل ۴-۷ مولفه بردار شتاب موشک در راستای عمود بر خط دید u_θ (m/s^2)..... ۴۲
شکل ۴-۸ نمودار نیروی پیشرو موشک نسبت به زمان..... ۴۳
شکل ۴-۹ فاصله نسبی بین موشک وهدف ($x_1 = r(t)$)..... ۴۵
شکل ۴-۱۰ مولفه در راستای خط دید بردار سرعت نسبی ($x_2 = V_r$)..... ۴۵
شکل ۴-۱۱ مولفه عمود بر خط دید بردار سرعت نسبی ($x_3 = V_\theta$)..... ۴۶
شکل ۴-۱۲ مولفه بردار شتاب موشک در راستای عمود بر خط دید u_θ (m/s^2)..... ۴۶
شکل ۵-۱ مسیر طی شده توسط موشک و هدف در دستگاه اینرسی..... ۵۴
شکل ۵-۲ فاصله نسبی بین موشک وهدف ($x_1 = r(t)$)..... ۵۴

شکل ۵-۳ مولفه در راستای خط دید بردار سرعت نسبی ($x_2 = V_r$).....۵۴
شکل ۵-۴ مولفه عمود بر خط دید بردار سرعت نسبی ($x_3 = V_\theta$).....۵۵
شکل ۵-۵ مولفه بردار شتاب موشک در راستای خط دید u_r (m/s^2).....۵۵
شکل ۵-۶ مولفه بردار شتاب موشک در راستای عمود بر خط دید u_r (m/s^2) ۵۶
شکل ۵-۷ مسیر طی شده توسط موشک و هدف ۵۸
شکل ۵-۸ فاصله نسبی بین موشک و هدف x_1.....۵۹
شکل ۵-۹ مولفه در راستای خط دید بردار سرعت نسبی x_2.....۵۹
شکل ۵-۱۰ مولفه عمود بر خط دید بردار سرعت نسبی x_3 .....۵۹
شکل ۵-۱۱ مولفه بردار شتاب موشک در راستای عمود بر خط دید u_θ ۶۰
شکل ۷-۱ موقعیت هندسی مشتق از مولفه های ناوبری تناسبی.....۷۲
شکل ۷-۲ نمودار $(\dot{\theta}/\dot{\theta}_0)$ در مقایسه با (R/R_0)، با پارامتر N' برای اهداف بدون مانور.....۷۷
شکل ۷-۳ $|a_{nm}/a_{nt}|$ در مقایسه با (R/R_0) برای اهداف دارای مانور.....۷۸
شکل ۷-۴ تاثیر N' در پرواز موشک.....۷۹
شکل ۷-۵ سیستم میل لنگ لغزنده ۸۸
شکل ۷-۶ محرک چرخشی/انتقالی با بار اضافی.....۸۹
شکل ۷-۷ پایداری زمان محدود خطای حالت سیستم ۹۹

فهرست نشانه‌های اختصاری

زمان	t
زمان برخورد	t_f
فاصله نسبی موشک و هدف در هر لحظه	$r(t)$
زاویه بین خط دید و محور اینرسی	$\theta(t)$
شتاب افقی هدف در دستگاه مختصات خط دید	a_{Tr}
شتاب عمودی هدف در دستگاه مختصات خط دید	$a_{T\theta}$
شتاب افقی موشک در دستگاه مختصات خط دید	a_{Mr}
شتاب عمودی موشک در دستگاه مختصات خط دید	$a_{M\theta}$
سرعت افقی موشک در دستگاه مختصات خط دید	V_{Mr}
سرعت عمودی موشک در دستگاه مختصات خط دید	$V_{M\theta}$
مولفه بردار شتاب موشک در راستای خط دید	u_r
مولفه بردار شتاب موشک در راستای عمود بر خط دید	u_θ
مولفه در راستای خط دید بردار سرعت نسبی	V_r
مولفه عمود بر خط دید بردار سرعت نسبی	V_θ
مولفه شتاب هدف در راستای خط دید	w_r
مولفه شتاب هدف در راستای عمود بر خط دید	w_θ
باند بالای w_r	η_r
باند بالای w_θ	η_θ

فهرست کلمات اختصاری

PNG	Proportional navigation Guidance
CLOS	Command to Line of Sight
MCLOS	Manual to CLOS
SACLOS	Semi Automatic CLOS
ACLOS	Automatic CLOS
SAM	Surface to air Missile
BR	Beam Rider
PPN	Pure Proportional Navigation
BPN	Biased Proportional Navigation
TPN	True Proportional Navigation
GPN	Generalized Proportional Navigation
APN	Augmented Proportional Navigation
IPN	Ideal Proportional Navigation
LDER	Light Detection and Ranging
RADAR	Radar Detection and Ranging
LOS	Line of Sight

فصل اول: مقدمه

۱-۱-مقدمه

در این فصل به صورت کوتاه به مسائل کلی مرتبط با هدایت و کنترل می پردازیم. اشاره ای به فازهای مختلف پرواز موشک و مسائلی که در هر فاز با آن ها مواجه هستیم، خواهیم داشت. در انتها به تعریف مساله و سازمان دهی این گزارش خواهیم پرداخت.

امروزه با گسترش روز افزون علوم و تکنولوژی نظامی به ویژه در بخش صنایع هوا فضا، موشک هایی طراحی و ساخته شده اند که با داشتن قابلیت مانور بالا، کارایی فوق العاده و سلاح های مهلک، خطر جدی محسوب می شوند. اغلب موشک ها توانایی انجام ماموریت هایی مانند ضد نیروهای زرهی، کشتی ها و مواضع زمینی را دارند. امروزه، موشکهای بالستیک و کروز می توانند دورترین مواضع را مورد هدف قرار دهند. به عنوان مثال موشک کروز نوعی هواگرد بی‌سرنشین هدایت شونده‌است که مسیر آن تا رسیدن به هدف قابل تغییر و هدایت است. در حین پرواز قادر به تغییر مسیر و ارتفاع است و می‌تواند مانورهای پله ای[۱]، موجی[۲]، پرپیچ و خم[۳]، گریزان[۴] و فرورونده[۵] را به دفعات تکرار کند. از این رو در بیشتر موارد امکان هدف قرار دادن موشک کروز وجود نداشته است. با توجه به اینکه روز به روز بر قدرت مانور این موشک ها افزوده می شود، لازم است تا قوانین هدایت در این زمینه بهبود یابند.

مساله هدایت یک موشک یافتن یک مسیر پروازی مناسب برای موشک به منظور برخورد به هدف است. قوانین هدایت مختلف منجر به طی مسیرهای متفاوتی برای رسیدن به هدف می شوند که هر کدام بنا بر ملاحظاتی در نظر گرفته می شوند. عمده ترین معیارهای یک قانون هدایت مناسب، حداقل شدن مصرف سوخت (به نوعی مبین حداقل شدن شتاب جانبی)، حداقل شدن زمان برخورد، حداقل فاصله از دست دهی، زاویه برخورد و حساسیت کم نسبت به نویزها و اغتشاشات می باشد.

لذا بسته به نیازهر موشک خاص یا فازهای مختلف پرواز یک موشک، قوانین هدایتی مختلفی به کار گرفته می شود.

هر موشکی در کنار حلقه هدایت (حلقه بیرونی) دارای یک حلقه کنترلی (حداقل داخلی) است، که وظیفه حلقه کنترل، پیاده سازی فرمان های بخش هدایت با استفاده از ابزارهای کنترلی (نظیر کنترل زاویه بالک، کنترل زاویه نازل سوخت و ...) است.

---

1 Step manoeuver

2 Sinusoidal or wave manoeuvre

3 Switch back manoeuvre

4 Juncking manoeuvre

5 Diving manoeuvre

عموماً در موشک ها عملیات هدایت را در سه فاز پرتاب، میانی و نهایی تقسیم بندی می کنند. هدف از فاز پرتاب حفظ موشک از ناپایداری و رساندن آن به حالت پایدار و قابل کنترل است. فاز میانی که از نظر زمان و مسافت طولانی ترین فاز است، پس از فاز پرتاب آغاز می شود و تا زمانی که جستجوگر موشک بر روی هدف قفل شود، ادامه می یابد. لذا از آنجایی که موشک در فاز میانی هدف را نمی بیند، فرامین هدایت در این فاز توسط سایت [1] صادر می شود.

در فاز نهایی که آخرین فاز هدایت است، هدف توسط خود موشک قابل رویت است و موشک در این فاز که معمولاً کوتاه است، باید انرژی و سرعت کافی برای انجام مانورهای سریع را داشته باشد و در برابر اهداف با مانورهای پیچیده عملکرد خوبی را از خود نشان دهد.آنچه که در این پایان نامه مورد مطالعه است، طراحی قانون هدایت برای موشک در فاز نهایی است، به نحوی که موشک توانایی برخورد با اهداف سریع با قابلیت مانوری بالا را در زمان کوتاه داشته باشد. کارایی قانون هدایت پیشنهادی در برخورد با اهداف دارای قابلیت های مانور بالا هم به لحاظ تئوری و هم توسط شبیه سازی نشان داده می شود.

این پایان نامه در شش فصل تنظیم شده است. در فصل دوم این پایان نامه، مساله مورد بحث تعریف شده است. حلقه هدایت و کنترل مورد مطالعه قرار گرفته و انواع روش های هدایت موشک مانند هدایت دو نقطه ای و سه نقطه ای مورد بررسی قرار می گیرد.

در فصل سوم مروری بر پژوهش های انجام شده در زمینه هدایت صورت گرفته است. با توجه به اینکه قوانین هدایت تناسبی و مشتقات آن به صورت گسترده در موشک ها پیاده سازی شده است، در فصل سوم این قانون به تفصیل بیان شده است. با توجه به اینکه این قوانین تنها برای موشک های بدون مانور و یا دارای مانور کم قابل استفاده است، رویکردهای دیگری در طراحی قانون هدایت مطرح شده است. از این رو در این فصل قوانین مطرح دیگر مانند قوانین هدایت مبتنی بر تئوری های کنترل بهینه و کنترل غیرخطی بیان می شود و مزایا و معایب آن ها شرح داده می شود. در نهایت با توجه به رویکرد پیشنهادی در این پایان نامه، که مبتنی بر ایده پایدارسازی جزئی زمان محدود در طراحی قانون هدایت است، مروری بر تعاریف و قضایای ارائه شده در مقالات در زمینه تئوری های پایداری جزئی و پایداری زمان محدود صورت می گیرد.

در فصل چهارم با استفاده از رویکرد مطرح شده، مساله هدایت موشک جهت اهداف بدون مانور برای موشک های دارای کنترل بالک و موشک های دارای کنترل بالک و کنترل نازل سوخت مطرح می شود. در این فصل، کارایی روش پیشنهادی هم به صورت تئوری و هم به صورت شبیه سازی نشان داده شده است.

[1] ایستگاه زمینی

در فصل پنجم با استفاده از رویکرد پیشنهادی، مساله هدایت موشک جهت اهداف دارای مانور بالا برای موشک های دارای کنترل بالک و موشک های دارای کنترل بالک و کنترل نازل سوخت مطرح می شود. در روند طراحی قانون هدایت ارائه شده در این پایان نامه، مانور هدف به هیچ فرم مشخص و از پیش تعیین شده ای محدود نشده است؛ بلکه با در نظر گرفتن شتاب هدف به عنوان ورودی اغتشاشی در روند طراحی، کافی است که تنها باند بالای آن معلوم باشد و در طراحی قانون هدایت تنها این باند در نظر گرفته می شود. در انتها، کارایی روش پیشنهادی هم به صورت تئوری و هم به صورت شبیه سازی نشان داده شده است.

در نهایت جمع بندی مطالب ارائه شده به همراه پیشنهاداتی جهت ادامه کار در فصل ششم آمده است. هم چنین مطالب تکمیلی در زمینه های انواع روش های هدایت تناسبی، روش های کنترل بهینه، تئوری و آنالیز پایداری جزئی و پایداری زمان محدود و ایده بازطراحی لیاپانوفی در پیوست آمده است.

فصل دوم: تعریف مساله