بسم الله الرحمن الرحيم

۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق–کنترل

ارائه الگوریتم هدایت سه‌نقطه‌ای بهینه و مقایسه آن با هدایت خط‌دید

توسط:

هادی قادری شیره‌جینی

استاد راهنما:

دکتر جعفر حیرانی نوبری

استاد مشاور:

دکتر میثم عظیمی

زمستان ۱۳۹۰

فرم حق طبع ونشر و مالکیت نتایج

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

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 مرجع مجاز نمی‌باشد.

بر فرس تند رو هر که تو را دید گفت　　برگ گل سرخ را باد کجا می برد؛

تقدیم به

مادر

و

پدرم

و تمامی آنهایی که از آنها **آموخته‌ام**.

تأییدیّه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای **هادی قادری شیره‌جینی** را با عنوان « **ارائه الگوریتم هدایت سه‌نقطه‌ای بهینه و مقایسه آن با هدایت خطدید** » از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	آقای دکتر حیرانی نوبری	استادیار	
۲- استاد مشاور	آقای دکتر عظیمی		
۳- استاد ممتحن داخلی	آقای دکتر نوین زاده	استادیار	
۴- استاد ممتحن خارجی	آقای دکتر نوبهاری	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر نوین زاده	استادیار	

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه : ارائه‌ی الگوریتم هدایت سه نقطه‌ای بهینه و مقایسه‌ی آن با هدایت خط دید

استاد راهنما: دکتر جعفر حیرانی نوبری

نام دانشجو: هادی قادری شیره‌جینی

اینجانب هادی قادری شیره‌جینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش کنترل دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو

تاریخ

سپاسگزاری

بعد از حمد و ثنای الهی بر خود لازم می‌بینم از زحمات و راهنمائی‌های اساتید بزرگوار و دوستان گرانقدر خود که مرا در طی این مسیر همراهی کرده‌اند تشکر کنم. استفاده از محضر اساتید گرانقدر گروه کنترل دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی فرصت ارزشمندی برای اینجانب بوده است. از کمک‌ها و مساعدت‌های جناب آقای دکتر نوبری نهایت تشکر را دارم، نکته‌سنجی و دقت ایشان در طرح و ارائه مطالب همواره راه‌گشای من در مسیر تحقیق و مطالعه است. همچنین از دوست و بردار عزیزم جناب آقای دکتر میثم عظیمی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان صمیمانه تشکر می‌کنم. از کمک‌های بی‌دریغ آقایان میرزازاده، یادگار، عباداللهی و دهقانی نیز کمال تشکر را دارم. از پدر و مادرم نیز که همواره دعای خیرشان شامل حالم بوده تشکر و قدردانی می‌کنم.

چکیده

در این پایان‌نامه به بحث و بررسی پیرامون روش‌های بهینه در هدایت سه‌نقطه‌ای پرداخته می‌شود. در این راستا ابتدا بیانی از مفهوم و کاربرد هدایت ارائه شده، سپس به طبقه‌بندی روش‌های هدایت و همچنین معرفی ویژگی‌های کلی و تفاوت عملکردی آن‌ها پرداخته شده است. در ادامه مرور تحقیقات انجام شده برای بهینه‌سازی هدایت سه‌نقطه‌ای با بحث روی ملزومات و دستاوردهای آن‌ها موضوع بحث بوده‌اند. یکی از پیشنهادات این پایان‌نامه برای سیستم‌های سه‌نقطه‌ای، پیاده‌سازی فرمانی هدایت تناسبی است از این رو مقایسه آن با روش آشیانه‌یابی و تعیین محدوده دید سنسور زمینی مورد بحث واقع شده است. یک روش سه‌نقطه‌ای بهینه نیز بر مبنای معادلات غیرخطی هندسه درگیری معرفی و با هدایت خط‌دید مقایسه شده است. روش ارائه شده دارای عملکرد مطلوب بوده و متغیرهای سینماتیکی مورد نیاز آن از سنسور زمینی حاصل می‌شود اما نیاز به تخمین چند متغیر سینماتیکی خواهد داشت.

کلید واژه: هدایت سه‌نقطه‌ای بهینه، هدایت ناوبری تناسبی، هندسه درگیری، تعقیب‌گر، فرمان شتاب.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... ه

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ز

۱- مقدمه ۳

۱-۱- پیشگفتار ۳

۱-۲- تاریخچه ۴

۱-۳- شیوه‌های نوین هدایت ۴

۱-۴- بیان نکاتی در مورد هدایت ۶

۱-۵- هدف از انجام تحقیق، نوآوری و ساختار گزارش ۷

۲- معرفی روش‌های مختلف هدایت ۱۱

۲-۱- هدایت خط‌دید ۱۱

۲-۱-۱- هدایت فرمان به خط‌دید ۱۱

۲-۱-۲- هدایت پرتو سوار ۱۳

۲-۲- هدایت تعقیب ۱۴

۲-۳- هدایت ناوبری تناسبی ۱۵

۲-۳-۱- هدایت تناسبی افزوده ۱۸

۲-۳-۲- مفهوم برخورد ۱۹

۲-۳-۳- مفهوم ناحیه تصرف ۲۰

۳- بهینه‌سازی هدایت ۲۳

۳-۱- مروری بر روش‌های بهینه‌سازی ۲۳

۳-۲- هدایت خط‌دید تعمیم یافته با زاویه تقدم ۲۵

۳-۱- هدایت خط دید دو مرحله‌ای بهینه- فازی ۲۵

۳-۲- یک روش دو مرحله‌ای دیگر [21] ۲۶

۳-۳- کارهای مرتبط دیگر ۲۷

۳-۴- بهینگی در هدایت تناسبی ۲۸

۳-۴-۱- فرمول‌بندی ۲۹
۳-۴-۲- استخراج مشخصات تابع عملکرد ۳۱
۳-۵- هدایت تناسبی بهبود یافته مبتنی بر مفهوم بردار فرمان برآیند [26] ۳۳
۳-۵-۱- هدایت تناسبی اصلاح شده ۳۴
۳-۵-۲- ثابت ناوبری تحقق یافته ۳۸
۳-۵-۳- ثابت ناوبری محقق شده در هدایت PN به همراه BAC ۳۹
۳-۵-۴- ثابت ناوبری محقق شده در هدایت تناسبی حقیقی ۴۰
۴- پیاده‌سازی سه‌نقطه‌ای هدایت ناوبری تناسبی ۴۵
۴-۱- محاسبه پارامترهای هدایت تناسبی توسط سنسورهای زمینی ۴۷
۴-۲- بحثی روی سنسور مورد نیاز ۴۸
۴-۲-۱- تعیین محدوده دید رادار ردیاب هدف برای پیاده‌سازی سه‌نقطه‌ای هدایت تناسبی ۴۹
۴-۲-۲- یک رابطه تقریبی برای زاویه نسبی بین موشک و هدف ۵۰
۴-۳- رابطه تحلیلی برای σ ۵۲
۴-۴- شبیه‌سازی و مقایسه با هدایت خطدید ۵۷
۵- ارائه الگوریتم بهینه ۶۵
۵-۱- تعریف مسأله ۶۵
۵-۲- حل معادلات الحاقی ۶۷
۵-۳- شبیه‌سازی و مقایسه با هدایت خطدید ۷۲
۵-۴- تحلیل حساسیت ۷۵
۵-۵- شبیه‌سازی در شرایط واقعی ۷۷
۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۳
ضمیمه أ -مدل‌سازی هدایت تناسبی ۸۵
فهرست مراجع ۸۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- فرم‌های مختلف هدایت تناسبی ۱۷
جدول ۲-۲- مرور خصوصیات روش‌های هدایت ۱۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- دیاگرام بلوکی مربوط به حلقه هدایت و حلقه کنترل [4] ۴
شکل ۲-۱- مسیر طی شده موشک در هدایت خط دید ۱۲
شکل ۲-۲- حلقه هدایت خط دید ۱۳
شکل ۲-۳- مسیر موشک در هدایت تعقیب سرعت ۱۴
شکل ۲-۴- مسیر موشک و هدف در هدایت ناوبری تناسبی ۱۵
شکل ۲-۵- هندسه درگیری در هدایت تناسبی ۱۷
شکل ۳-۱- هندسه درگیری هدایت خط‌دید با زاویه تقدم ۲۴
شکل ۳-۲- بلوک دیاگرام هدایت IPNG ۲۷
شکل ۳-۳- هندسه درگیری برای خطی‌سازی هدایت تناسبی ۲۹
شکل ۳-۴- مثلث برخورد در هدایت تناسبی ۳۴
شکل ۳-۵- دستگاه‌های مختصات خط‌دید و اینرسی ۳۶
شکل ۳-۶- هدایت تناسبی بهبود یافته ۳۶
شکل ۳-۷- ثابت ناوبری تحقق یافته در سه بعد ۳۹
شکل ۴-۱- مدل خطی شده حلقه هدایت تناسبی در پیاده‌سازی سه نقطه‌ای ۴۶
شکل ۴-۲- مدل خطی شده حلقه هدایت تناسبی در پیاده‌سازی آشیانه‌یابی ۴۷
شکل ۴-۳- نرخ چرخش خط‌دید ۴۷
شکل ۴-۴- هندسه درگیری هدایت تناسبی فرمانی ۴۹
شکل ۴-۵- مقایسه بین مقدار واقعی و تقریب زده شده برای σ ۵۲
شکل ۴-۶- هندسه درگیری هدایت تناسبی خالص به منظور حل تحلیلی ۵۳
شکل ۴-۷- مقایسه پاسخ به دست آمده از حل تحلیلی با شبیه‌سازی ۵۵
شکل ۴-۸- مقایسه حل تحلیل و شبیه‌سازی زاویه نسبی خط دید برای دو زاویه شلیک مختلف ۵۶
شکل ۴-۹- زاویه نسبی خط دید ماکزیمم بر حسب زاویه پیشگیری ۵۷
شکل ۴-۱۰- مقایسه عملکرد روش‌های CLOS و CPN برای یک هدف ثابت ۵۸
شکل ۴-۱۱- مقایسه عملکرد روش‌های CLOS و CPN برای یک هدف 150 m/sec ۵۹
شکل ۴-۱۲- مقایسه عملکرد روش‌های CLOS و CPN برای یک هدف 300 m/sec ۶۰
شکل ۴-۱۳- شبیه‌سازی روش‌های CLOS و CPN با اصلاح زاویه پیشگیری ۶۱

شکل ۵-۱- هندسه درگیری برای قانون هدایت بهینه ۶۵
شکل ۵-۲- شبیه‌سازی روش بهینه برای زوایای شلیک مختلف..... ۷۲
شکل ۵-۳- مقایسه عملکرد روش‌های CLOS و بهینه برای یک هدف ثابت ۷۳
شکل ۵-۴- مقایسه عملکرد روش‌های CLOS و بهینه برای یک هدف 150 m/sec..... ۷۴
شکل ۵-۵- مقایسه عملکرد روش‌های CLOS و بهینه برای یک هدف 300 m/sec..... ۷۵
شکل ۵-۶- منحنی خطای از دست‌دهی نسبت به عدم قطعیت در تخمین $\boldsymbol{\theta_{vf}}$ ۷۶
شکل ۵-۷- منحنی خطای از دست‌دهی نسبت به عدم قطعیت در تخمین $\boldsymbol{t_f}$..... ۷۶
شکل ۵-۸- ارزیابی عملکرد روش بهینه در شرایط واقعی ۷۸

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
بردار $\mathbf{X}$ بیان شده در دستگاه $\mathbf{A}$	$^{\mathbf{A}}\mathbf{X}$
ماتریس دوران از دستگاه $\mathbf{A}$ به دستگاه $\mathbf{B}$	$^{\mathbf{B}}_{\mathbf{A}}\mathbf{C}$
مشتق نسبت به زمان بردار $\mathbf{X}$ از دید دستگاه $\mathbf{A}$	$\mathrm{P}_{\mathbf{A}}\mathbf{X}$
دستگاه مختصات $\mathbf{A}$	$\{\mathbf{A}\}$
سرعت زاویه‌ای دستگاه $\mathbf{A}$ نسبت به دستگاه $\mathbf{B}$	$\boldsymbol{\omega}_{\mathbf{BA}}$
بردار مکان موشک	$\mathbf{R}_{\mathbf{M}}$
اندازه بردار مکان موشک	R_m
زاویه بردار مکان موشک نسبت به افق	θ_m
بردار مکان هدف	$\mathbf{R}_{\mathbf{T}}$
اندازه بردار مکان هدف	R_t
زاویه بردار مکان هدف (خط دید هدف) نسبت به افق	θ_t
اندازه بردار موشک	V_M
زاویه بردار سرعت نسبت به افق	θ_v
بردار مکان موشک - هدف	$\mathbf{R}$
اندازه بردار مکان موشک - هدف	R
زاویه بردار مکان موشک - هدف نسبت به افق	θ
نرخ چرخش خط دید در صفحه (در فضا)	$\dot{\theta}\,(\boldsymbol{\Omega})$
زاویه نسبی خط دید موشک نسبت به خط دید هدف	σ
سرعت نزدیک شوندگی بین موشک و هدف	V_c
سرعت نسبی بین موشک و هدف	V_{re}
اندازه شتاب درخواستی الگوریتم هدایت	$\mathbf{a}_c$

شتاب طولی موشک	a_{XV}
شتاب جانبی موشک	a_{ZV}
شتاب در امتداد محور طولی بدنه	a_{XB}
شتاب عمود بر محور طولی بدنه	a_{ZB}
اندازه شتاب گرانش	g
زمان برخورد	t_f
زمان باقیمانده تا برخورد	$t_{go}(=t_f-t)$

فصل اول

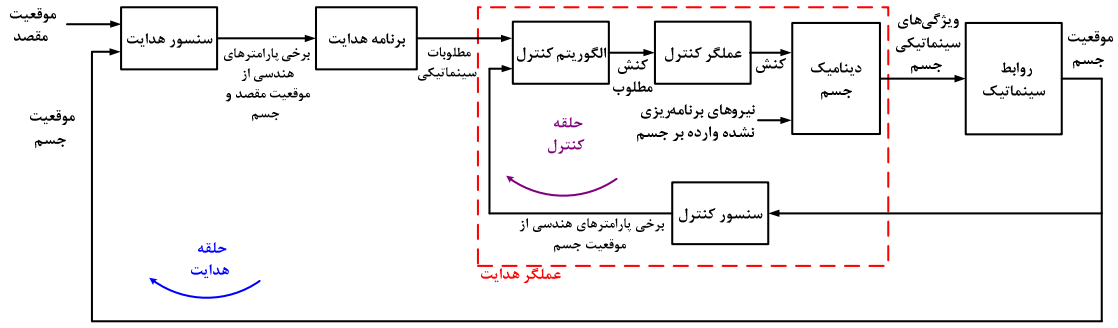
مقدمه

۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

الگوریتم هدایت[1] تعیین کننده‌ی استراتژی حرکت یک تعقیب‌کننده[2] به سمت هدف[3] است **[1]**. یک الگوریتم هدایت می‌تواند دارای کاربردهایی در رباتیک، هدایت UAV ها و غیره باشد **[2]** ، **[3]**. نوع و رفتار هدف یکی از مهمترین عوامل دخیل در طراحی یا انتخاب الگوریتم هدایت است، به عبارت دیگر محدوده سرعت هدف، وجود یا عدم وجود مانور و نحوه حرکت آن (مانند حرکت بالستیکی و ...) نشان دهنده رفتار هدف است. از طرفی خصوصیات تعقیب‌کننده باید متناسب با هدف و ناحیه عملکرد مورد نیاز تعیین شوند. مثلاً برای یک موشک زمین به هوا باید نیروی پیشران، سنسور و یک ساختار مناسب برای سیستم کنترل در نظر گرفته شود. شرایط اولیه شلیک نیز از دیگر عوامل مهم در هدایت است برای مثال در یک سامانه زمین به هوا تعیین شرایط شلیک تا حدودی در اختیار طراح قرار دارد اما یک موشک هوا به هوا یا هوا به زمین هنگام رهاسازی از هواپیمای حامل دارای شرایط ویژه‌ای مانند جهت، سرعت و چرخش اولیه بوده و این عامل ممکن است منشأ تأثیرات نامطلوب در روند هدایت باشد. با توجه به شکل ۱-۱ که نشان دهنده حالت کلی دیاگرام بلوکی حلقه هدایت است می‌توان گفت قانون هدایت با استفاده از اطلاعات سینماتیکی تعقیب‌گر و هدف، یک ورودی مرجع برای سیستم کنترل ایجاد می‌کند؛ حلقه کنترل وظیفه دارد با استفاده از سنسورها و عملگرهای پیش‌بینی شده برای آن دستورات هدایت را اجرا کند. با این توصیفات طراحی هدایت نیازمند نگاه جامع به سیستم بوده و انتخاب نهایی روش هدایت با توجه به مأموریت کلی سیستم صورت می‌گیرد. این انتخاب متقابلاً الزاماتی برای چیدمان و خصوصیات اجزای سخت‌افزاری سامانه هدایت به وجود خواهد آورد. در نهایت این حرکت رفت و برگشت به همراه یک سری ملاحظات و مصالحات به تصمیم نهایی در طراحی الگوریتم هدایت منجر می‌شود.

1 Guidance algorithm
2 Pursuer
3 Target



شکل ۱-۱- دیاگرام بلوکی مربوط به حلقه هدایت و حلقه کنترل [4]

۱-۲- تاریخچه

به دلیل ناکارآمدی سلاح‌های معمولی در مقابله با حملات هوایی نیاز به توسعه روش‌های هدایت به منظور هوشمندسازی سلاح‌ها احساس شد. با پیشرفت منابع تهدید، گسترش و بهبود روش‌های هدایت نیز از اهمیت خاصی برخوردار شدند. مقالات اولیه در این زمینه به توسعه و مرور روش‌های هدایت اینرسی برای برخورد یک موشک برد بلند به اهداف زمینی ثابت، پرداخته‌اند. اما این روش‌ها برای مقابله با اهداف متحرک مانند هواپیماهای مانور دهنده[۱] که نیاز به اندازه‌گیری زمان‌واقعی[۲] موقعیت هدف و پاسخ به تغییرات سریع آن را دارد، کافی نیست. برای همین موشک‌های پدافندی[۳] جدید از هدایت آشیانه‌یاب[۴] استفاده می‌کنند. در این روش سنسور نصب شده بر روی موشک اطلاعات مورد نیاز الگوریتم هدایت از هدف را تأمین می‌کند. از آنجائیکه با نزدیک شدن موشک به هدف کیفیت اندازه‌گیری سنسور بیشتر می‌گردد، دقت هدایت آشیانه‌یابی با استفاده از هیچ روش هدایت دیگری به دست نمی‌آید [5].

۱-۳- شیوه‌های نوین هدایت

عملیات هدایت یک موشک تاکتیکی به سمت یک هدف، تحت تأثیر عوامل و محدودیت‌های گوناگون قرار دارد. چند نمونه از این عوامل به صورت زیر است.

- قابلیت مانور هدف
- خطای اندازه‌گیری سنسورهای هدایت
- دینامیک اتوپایلوت

1 Maneuvering aircraft
2 Real time
3 Air defense missile
4 Homing guidance