بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه کنترل

کنترل فازی مقاوم ربات تک چرخ الکتریکی

دانشجو:

جواد کیقبادی

استاد راهنما:

پروفسور محمد مهدی فاتح

پایان نامه ارشد جهت دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

تعهد نامه

اینجانب جواد کیقبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق کنترل، دانشکده برق، دانشگاه شاهرود، نویسنده پایان نامه کنترل فازی مقاوم ربات تک چرخ الکتریکی تحت راهنمائی پروفسور محمد مهدی فاتح متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامهتوسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج ازپایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامهبدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیم به

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نسیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چراکه این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب به من آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی بودند و انسان بودن را معنا کردند.

تقدیم به وجود با ارزشتان...

تشکر و قدردانی

از استاد راهنمای فرهیخته و فرزانه ی خود جناب آقای **پروفسور محمد مهدی فاتح** که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کارساز و سازنده بارور ساختند و صبورانه راه پر پیچ و خم تحقیق را هموار نمودند، تقدیر و تشکر می نمایم.

چکیده

در این پایان نامه کنترل فازی مقاوم ربات تک چرخ الکتریکی چهار درجه آزادی ارائه می شود. علاوه بر آن کنترل مبتنی بر مدل نیز طراحی می گردد. دینامیک این ربات توسط چهار معادله‌ی غیرخطی بیان می شود. پیچیدگی و اثر متقابل شدید بین متغیرهای حالت، تحلیل و طراحی کنترل کننده را دشوار می سازد. این ربات شامل یک چرخ چندجهته، جای سرنشین و دو موتور می باشد. مکانیزم حرکت ربات به این گونه است که سرنشین با خم کردن خود در هر راستا، سبب حرکت ربات در همان جهت می شود. یک موتور وظیفه‌ی حرکت در راستای جلو – عقب و موتور دیگر عهده دار حرکت در راستای چپ – راست ربات می باشد. کنترل کننده به رفع انحرافات ایجاد شده توسط سرنشین می پردازد و سعی دارد که آنها را صفر نماید.

در این پایان نامه معادلات حرکت سیستم با ایده‌ای خلاقانه به یک فرم ماتریسی تبدیل می شوند. سپس چهار روش مختلف برای کنترل آن پیشنهاد می شود. در روش اول قانون کنترل خطی سازی پسخورد مبتنی بر مدل در حوزه‌ی گشتاور ارائه می شود. در روش دوم، قانون کنترل فازی مقاوم مبتنی بر حالت لغزشی در حوزه‌ی گشتاور ارائه می شود. از مزیت های روش پیشنهادی این است که نیازی به تعیین حدود عدم قطعیت ها نیست چراکه آن ها به روش تطبیقی تخمین زده می شوند. در روش سوم، کنترل فازی مقاوم در حوزه ولتاژ ارائه می شود. در روش چهارم، کنترل فازی مقاوم مبتنی بر قاعده‌ی اسپانگ با راهبرد کنترل ولتاژ ارائه می شود. پایداری روش های پیشنهادی، اثبات می‌شود. به منظور بررسی عملکرد از نرم افزار MATLAB استفاده شده است. نتایج شبیه سازی، کارایی مناسب روش های کنترلی را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: ربات تک چرخ، خطی سازی پسخورد، کنترل فازی مقاوم، راهبرد کنترل گشتاور، تخمین کران عدم قطعیت، راهبرد کنترل ولتاژ.

مقالات استخراج شده از پایان نامه

Revised :

۱- محمد مهدی فاتح ، جواد کیقبادی و رضا رضوانیان نقندر " کنترل فازی تطبیقی ربات تک چرخ الکتریکی" مجله علمی - پژوهشی مکانیک سازه ها و شاره ها (ISC)

Accepted :

۲- محمد مهدی فاتح، حسین اسراری، جواد کیقبادی و سعید خراشادیزاده "کنترل مقاوم فازی تطبیقی ربات در فضای کار با استراتژی کنترل ولتاژ " چهاردهمین کنفرانس فازی ایران.

فهرست مطالب

فصل ۱- مقدمه و پیشینه تحقیق ۱

۱-۱- ربات های دو چرخ ۳

۱-۲- ربات های تک چرخ ۸

۱-۳- تعریف مساله ۱۵

۱-۴- مروری بر ساختار پایان نامه ۱۶

فصل ۲- **مدل سازی ربات تک چرخ** ۱۷

۲-۱- توصیف مدل ۱۸

۲-۲- مدل نهایی ماتریسی ربات ۲۳

فصل ۳-**طراحی کنترل کننده خطی سازی پسخورد با راهبرد کنترل گشتاور** ۲۵

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- ارائه قانون کنترل خطی سازی پسخورد و اثبات پایداری ۲۸

۳-۳- نتایج شبیه سازی ۳۱

فصل ۴- طراحی کنترل کننده فازی مقاوم مبتنی بر حالت لغزشی با راهبرد کنترل گشتاور ۳۷

۴-۱- مقدمه ۳۸

۴-۲- کنترل حالت لغزشی ۳۸

۴-۳- کنترل فازی ۴۰

۴-۴- ارائه قانون کنترل فازی مقاوم با راهبرد کنترل گشتاور ۴۲

۴-۵- اثبات پایداری ۴۵

۴-۶- نتایج شبیه سازی..... ۴۷

فصل ۵-طراحی کنترل کننده فازی مقاوم با راهبرد کنترل ولتاژ.....۵۳

۵-۱- مقدمه.....۵۴

۵-۲- بررسی معادلات دینامیکی محرکه های ربات.....۵۴

۵-۳- طراحی کنترل کننده فازی مقاوم با راهبرد کنترل ولتاژ..... ۵۶

۵-۴- اثبات پایداری..... ۵۹

۵-۵- نتایج شبیه سازی..... ۶۱

فصل ۶-طراحی کنترل کننده فازی مقاوم با راهبرد کنترل ولتاژ مبتنی بر قاعده اسپانگ.....۶۷

۶-۱- مقدمه.....۶۸

۶-۲- طراحی کنترل کننده فازی مقاوم با راهبرد کنترل ولتاژ.....۶۸

۶-۳- اثبات پایداری..... ۷۰

۶-۴- نتایج شبیه سازی..... ۷۳

فصل ۷- نتیجه گیری و پیشنهادات.....۷۹

۷-۱- نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۸۰

پیوست الف.....۸۲

الف-۱ محاسبه انرژی جنبشی و پتانسیل ربات.....۸۳

الف-۲ معادلات حرکت ربات.....۸۹

مراجع.....۹۳

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱: ربات دو چرخ یامافوجی ۳

شکل ۱-۲: ربات دو چرخ گراسر ۴

شکل ۱-۳: ربات دو چرخ سگوی. ۴

شکل ۱-۴: ربات دو چرخ کیم ۵

شکل ۱-۵: شمای کلی ربات دو چرخ پاساک ۶

شکل ۱-۶: ربات دو چرخ ان بوت ۶

شکل ۱-۷: ربات دو چرخ هیونگ ۷

شکل ۱-۸: ربات تک چرخ شنگ ۸

شکل ۱-۹: ربات تعادلی ژایرور ۹

شکل ۱-۱۰: مدل پیشنهادی کمپ ۹

شکل ۱-۱۱: محصول شرکت بی آر پی ۱۰

شکل ۱-۱۲: ربات تک چرخ الکساندر ۱۰

شکل ۱-۱۳: ربات تک چرخ هوانگ ۱۱

شکل ۱-۱۴: ربات تک چرخ کادیس ۱۱

شکل۱-۱۵: ربات تک چرخ لی ۱۲

شکل۱-۱۶: ربات تک چرخ اوکی ناکامورا ۱۲

شکل۱-۱۷: ربات تک چرخ هوفر ۱۳

شکل۱-۱۸: چرخ چندجهته طراحی شده توسط شرکت هوندا ۱۴

شکل۱-۱۹: مدل ارتقاء یافته ربات تعادلی شرکت هوندا ۱۴

شکل۳-۱: دیاگرام سیستم کنترل خطی سازی پسخورد ۳۱

شکل۳-۲: زاویه انحراف به طرفین توسط سرنشین (بتا) ۳۲

شکل۳-۳: زاویه انحراف محل استقرار سرنشین (زتا) ۳۲

شکل۳-۴: سیگنال کنترل بتا ۳۳

شکل۳-۵: سیگنال کنترل زتا ۳۳

شکل۳-۶: سیگنال خطای زاویه رول (بتا) ۳۴

شکل۳-۷: سیگنال خطای ناشی از انحراف محل استقرار سرنشین (زتا) ۳۴

شکل۴-۱: توابع تعلق هر ورودی فازی ۴۴

شکل۴-۲: دیاگرام سیستم کنترل فازی مقاوم با راهبرد کنترل گشتاور ۴۷

شکل۴-۳: زاویه انحراف به طرفین توسط سرنشین (بتا) ۴۸

شکل۴-۴: زاویه انحراف به طرفین توسط سرنشین (زتا)..... ۴۸

شکل۴-۵: سیگنال کنترل بتا ۴۹

شکل۴-۶: سیگنال کنترل زتا ۴۹

شکل۵-۱: مدار معادل موتور dc مغناطیس دائم ۵۴

شکل۵-۲: توابع تعلق فازی..... ۵۹

شکل۵-۳: دیاگرام سیستم کنترل فازی مقاوم با راهبرد کنترل ولتاژ..... ۶۲

شکل۵-۴: زاویه انحراف به طرفین توسط سرنشین (بتا)..... ۶۳

شکل۵-۵: زاویه انحراف به طرفین توسط سرنشین (زتا) ۶۳

شکل۵-۶: سیگنال کنترل بتا (ولتاژ موتور ۱)..... ۶۴

شکل۵-۷ : سیگنال کنترل زتا (ولتاژ موتور ۲) ۶۴

شکل۵-۸: خطای تنظیم متغیر بتا ۶۵

شکل۵-۹: خطای تنظیم متغیرزتا..... ۶۵

شکل۶-۱ : توابع تعلق فازی..... ۷۰

شکل۶-۲ : دیاگرام سیستم کنترل فازی مقاوم مبتنی بر قاعده اسپانگ..... ۷۳

شکل۶-۳ : زاویه انحراف به طرفین توسط سرنشین (بتا)..... ۷۴

شکل۶-۴ : زاویه انحراف به طرفین توسط سرنشین (زتا)..... ۷۴

شکل۶-۵ : ولتاژ موتور ۱ (مربوط به متغیر بتا) ۷۵

شکل۶-۶ : ولتاژ موتور ۲ (مربوط به متغیر زتا)..... ۷۵

شکل۶-۷ : خطای تنظیم متغیر بتا ۷۶

شکل۶-۸ : خطای تنظیم متغیرزتا..... ۷۶

شکل‌الف-۱: چرخ کوچک و محورهای مختصات مبنا و نسبی متصل به آن..... ۸۳

شکل الف-۲: چرخ بزرگ و محورهای مختصات مبنا و نسبی متصل به آن..... ۸۴

شکل الف-۳: مجموعه چرخ های کوچک و محورهای مختصات متصل به آن..... ۸۵

شکل‌الف-۴: محل استقرار سرنشین و محور های مختصات متصل به آن..... ۸۷

فهرست جداول

جدول۵-۱: پارامترهای موتور های الکتریکی..... ۶۲

فصل ۱-

مقدمه

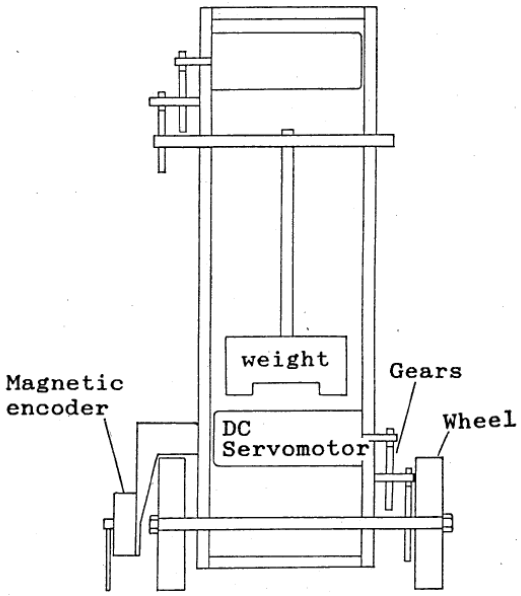
مقدمه

در طی سال های اخیر مراکز تحقیقاتی و پژوهشگران تلاش های خود را برای طراحی و ساخت ربات‌هایی با قابلیت جابجایی آسان و کم حجم متمرکز نموده اند. ربات های تک سرنشین با قابلیت استفاده در مکان های مختلف با مانورپذیری بالا و توانایی نگه داری شارژ به مدت طولانی از جمله اهداف مهندسین طراح است. ربات های تعادلی دو چرخ و تک چرخ نمونه هایی از ربات های تک سرنشین می باشد. گفتنی است که در طراحی ربات های تک چرخ از ایده ی پاندول معکوس الهام گرفته شده است[۱]. پاندول معکوس به علت ناپایداری و غیرخطی بودن به عنوان یکی از مسایل چالش برانگیز در مهندسی کنترل شناخته می شود[۲].

در این فصل به معرفی و دسته بندی ربات های تعادلی دو چرخ و تک چرخ پرداخته و مقالات و پژوهش ها در این زمینه مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه ربات تک چرخ مورد استفاده در این پایان نامه ارائه می شود و مزایای آن بیان می گردد. در بخش انتهایی، فصل های پایان نامه به اختصار معرفی شده است.

۱-۱ ربات های دو چرخ

ربات های دو چرخ، بخاطر دو نقطه تماس با زمین، تعادل مطلوبی در انحراف به طرفین دارند. اولین ربات دو چرخ توسط یامافوجی در سال ۱۹۸۹ معرفی شد که وی با معیار راث-هرویتز زاویه پیچ (انحراف به جلو- عقب) آن را کنترل نمود. در شکل زیر ربات دو چرخ یامافوجی مشاهده می شود[۳].



شکل ۱-۱ ربات دو چرخ یامافوجی

در سال ۲۰۰۲ گراسر و همکاران وی مدل دینامیکی ربات دو چرخ را به روش دینامیک نیوتونی محاسبه کردند. آن ها معادلات را حول نقطه تعادل خطی سازی و به فرم فضای حالت تبدیل کردند. سپس اثر متقابل بین متغیرهای حالت را از بین برده و با روش جایابی قطب در امر کنترل و پایداری سیستم موفق شدند.

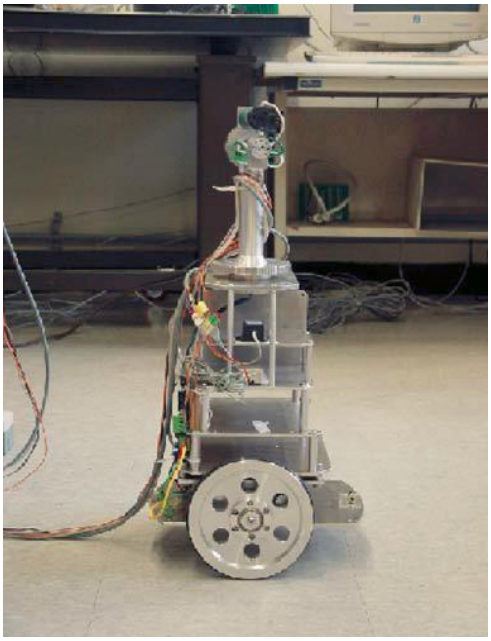
در شکل زیر ربات تعادلی دو چرخ گراسر مشاهده می شود [۴].

شکل ۱-۲ ربات دو چرخ گراسر

در همان سال، دن کامن، ربات دو چرخی را ساخت که توسط شرکت سگوی خریداری و به تولید انبوه رسید. در این محصول از پنج ژیرسکوپ و دو سنسور شیب برای حفظ تعادل و پایداری آن استفاده می شد. مدل ریاضی این محصول دارای سه درجه آزادی است. در شکل زیر، وسیله نقلیه تجاری سگوی را مشاهده می نماییم[۵].

شکل ۱-۳ ربات دو چرخ سگوی

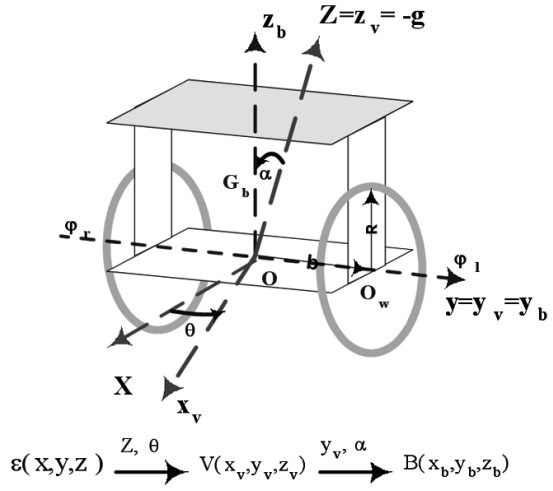
در سال ۲۰۰۵ کیم و همکاران، مدل دینامیک مناسبی از ربات دو چرخ ارائه دادند. مدل آنها سه درجه آزادی داشته و به منظور از بین رفتن پیچیدگی های بسیار در معادلات، عمل خطی سازی انجام شده است. برای حفظ تعادل ربات از سنسورهای مختلفی استفاده شده است. در شکل زیر ربات دو چرخ کیم مشاهده می شود[۶].



شکل ۱-۴ ربات دو چرخ کیم

در سال ۲۰۰۵ پاساک و همکاران وی ربات تعادلی دو چرخی را ارائه دادندکه از دو کنترل کننده مجزا در کنترل زوایای آن بهره می جست. کنترل کننده موقعیت و سرعت ربات را به مقادیر مطلوب می رساند.

شمای کلی ربات دو چرخ آن ها به صورت زیر می باشد [۷].



شکل ۱-۵ شمای کلی ربات دو چرخ پاساک

از دیگر ربات های تعادلی دو چرخ می توان به ربات اکیوبت که از ژیرسکوپ و سنسورهای مختلف در کنترل آن استفاده شده است، اشاره کرد. همچنین می توان به ربات انبوت توجه نمود که مکانیزم آن براساس جمع آوری داده های دو سنسور و پردازش توسط پردازنده می باشد. در شکل زیر این ربات مشاهده می شود[۸].

شکل ۱-۶ ربات دو چرخ انبوت

در سال ۲۰۰۹ هیونگ یوک و همکاران وی یک ربات دو چرخ را طراحی و ساختند که درطراحی آن از محصول شرکت سگوی الهام گرفته شده بود با این تفاوت که در ربات هیونگ به جای سرنشین یک ربات انسان نما مسئول راندن آن می باشد. مکانیزم حرکت آن به این گونه است که راننده با تغییرات حاصل در خود باعث تغییر مرکز ثقل ربات دو چرخ شده و ربات در جهت راننده حرکت می کند. هیونگ و همکارانش به منظور تضمین پایداری و تعادل ربات از یک کنترل کننده فازی و تعدادی سنسور مختلف استفاده کردند. لازم به ذکر است که ارتباط و هماهنگی بین راننده و ربات توسط کنترل کننده تناسبی – انتگرالی – مشتقی از نوع تطبیقی انجام می گرفت. همچنین برای غلبه بر اغتشاشات وارد به سیستم از الگوریتم های مقاوم بهره جستند. در شکل زیر ربات دو چرخ هیونگ مشاهده می شود [۹].

شکل ۱-۷ ربات دو چرخ هیونگ