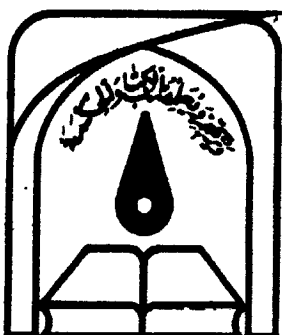
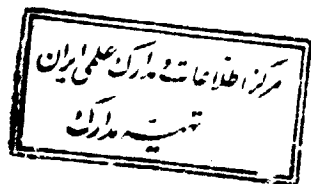


بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

۱۳۸۰ / ۹ / ۲۰



دانشگاه تربیت مدرس

011557

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (طراحی کاربردی)

طراحی کنترلر مقاوم موقعیت و نیرو برای ربات
راهرونده

نگارنده:

شهریار بزرگمهری

استاد راهنما:

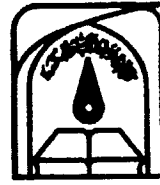
دکتر مجید محمدی مقدم

استاد مشاور:

دکتر حمیدرضا تقی راد

خرداد ۱۳۸۰








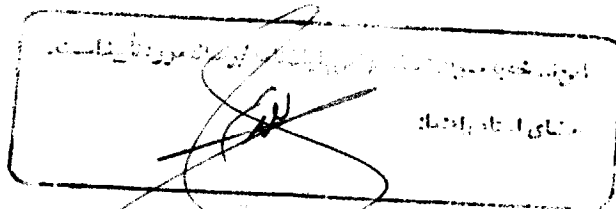


دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای شهریار بزرگمهری پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان طراحی کنترلر مقاوم موقعیت و نیرو برای ربات راهرونده در تاریخ ۸۰/۳/۱۳ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک باگرایش طراحی کاربردی پیشنهاد می کنند.

<u>امضاء</u>	<u>نام و نام خانوادگی</u>	<u>اعضای هیات داوران</u>
	آقای دکتر محمدی مقدم	۱- استاد راهنما:
	آقای دکتر تقی راد	۲- استاد مشاور:
	آقای دکتر اسماعیل زاده	۳- استادان ممتحن:
	آقای دکتر آریا الستی	
	آقای دکتر قدیری	۴- مدیر گروه: (یا نماینده گروه تخصصی)





بسمه تعالی

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 / رساله دکتری نگارنده در رشته *مهندسی مکانیک* است که در سال ۱۳۸۰ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خاتم / جناب آقای دکتر *محمد تقی محمدی*، مشاوره سرکار خاتم / جناب آقای دکتر *محمد تقی محمدی* و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر *...* 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 تمهید 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 نوقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب *سهراب زرگرگر* دانشجوی رشته *مکانیک* مقطع *کارشناسی ارشد* تمهید فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: *سهراب زرگرگر*

تاریخ و امضا: *۱۳۸۰/۲/۷*

تقدیم

این پایان‌نامه را به پدر و مادر گرامیم تقدیم می‌کنم شاید
به این وسیله ذره‌ای از زحمات ایشان را سپاس گفته
باشم.

همچنین از راهنمایی‌ها و کمک‌های فراوان برادر و خواهر
عزیزم در انجام این پروژه تشکر فراوان می‌نمایم.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم که از استاد بزرگوایم جناب آقای دکتر مجید محمدی مقدم به خاطر راهنمایی‌های ارزنده و زحمات بی‌دریغ‌شان در انجام این پایان‌نامه تشکر و قدردانی فراوان بنمایم.

همچنین از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر حمیدرضا تقی‌راد که از نظرات ارزشمند ایشان در به ثمر رساندن این پایان‌نامه استفاده بسیار شده است کمال تشکر و سپاسگزاری را می‌نمایم.

چکیده:

رباتهای راهرونده از پیچیدهترین محصولات تکنولوژی امروز میباشند که تحقیقات فراوانی را به خود اختصاص دادهاند. در این پایان نامه، یک مکانیزم مناسب برای تحلیل این گونه رباتها ارائه گردیده است. این مکانیزم، یک ربات P2R می باشد که بعنوان یک پا از ربات راهرونده چندپایی یا یک ربات پا - چرخ (Leg-Wheel Robot) با توجه به امکانات ساخت و آزمایش در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته است. معادلات دینامیکی ربات مذکور با استفاده از روش کین (kane) بدست آمده است. معادلات فوق سپس خطی شده و در دو حالت دینامیک مستقیم و معکوس حل شده اند و حرکت ربات بصورت مدار باز شبیه سازی شده است. در مرحله بعد، معادلات حالت سیستم با استفاده از معادلات دینامیکی خطی شده بدست آمده و به همراه تابع تبدیل موتور DC و مدل زمین به صورت مدار بسته در نرم افزار Simulink شبیه سازی شده است. در ادامه یک کنترلر مقاوم PID براساس ضرایب محک (ITAE) Integral Time Absolute Error طراحی شده است. علاوه بر کنترلر PID، یک کنترلر H_{∞} نیز برای ربات طراحی شده است که علی رغم داشتن شرایط پایداری مناسب، عملکرد لازم را فراهم نمی سازد. در انتها ربات مورد مطالعه ساخته شده و در عمل کنترلر PID در حالت های مختلف مورد آزمایش قرار گرفته است و برای بررسی پایداری مقاوم، دینامیک ربات با استفاده از تغییر وزن مورد آزمایش قرار گرفته که از عملکرد و پایداری مناسب برخوردار بوده است.

کلید واژه: ربات راهرونده، ربات پا - چرخ، کنترل موقعیت و نیرو، دینامیک کین

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
.....	چکیده
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- مروری بر تاریخچه تحقیقات
۳	۱-۲-۱- کنترل نیروی ربات
۶	۲-۲-۱- رباتهای راهرونده
۸	۳-۱- تحقیقات انجام گرفته در این پایان نامه
۱۰	فصل دوم: مدلسازی حرکت و دینامیک ربات
۱۱	۱-۲- مدل دینامیک ربات
۱۲	۲-۲- فیود
۱۲	۱-۲-۲- فیود حرکت غیرهولونومیک
۱۳	۲-۲-۲- فیود نیرو
۱۵	۳-۲- روش کین
۱۷	۴-۲- استخراج معادلات دینامیکی

۱۷	..... دستگاههای مختصات ۱-۴-۲
۱۸	..... معادلات دینامیکی ۲-۴-۲
۲۱	..... بدست آوردن معادلات خطی حرکت ۵-۲
۲۳	..... حل معادلات و شبیه‌سازی حرکت ۶-۲
۲۷	..... فصل سوم: کنترل ربات
۲۸	..... ۱-۳- معادلات حالت ربات
۳۰	..... ۲-۳- تابع تبدیل و معادلات DC موتور
۳۳	..... ۳-۳- مدل زمین
۳۳	..... ۴-۳- کنترل سیستم
۳۴	..... ۵-۳- طراحی کنترلر مقاوم PID
۳۶	..... ۶-۳- نتایج شبیه‌سازی سیستم در حالت مدار بسته
۴۱	..... ۷-۳- طراحی کنترلر H_{∞} و سنتز μ
۴۵	..... فصل چهارم: دستگاه آزمایشگاهی ساخته شده و نتایج تجربی
۴۶	..... ۱-۴- مشخصات دستگاه آزمایشگاهی
۴۹	..... ۲-۴- آزمایشهای تجربی
۵۶	..... فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۵۷	..... نتیجه‌گیری
۵۸	..... پیشنهادات
۵۹	..... مراجع و منابع
۶۳	..... واژه‌نامه

فهرست جداول

صفحه

عنوان

جدول ۱-۲. پارامترهای دناویت - هارتنبرگ ربات ۱۸

جدول ۱-۴. مشخصات مکانیکی ربات راهرونده ۴۶

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۲	شکل ۱-۲. ریات P2R مدل ریات راهرونده
۱۳	شکل ۲-۲. ممان تولید شده توسط نیرو اعمالی به پای ریات
۱۴	شکل ۳-۲. محاسبه ضریب اصطکاک μ
۱۷	شکل ۴-۲. دستگاههای مختصات ریات
۱۹	شکل ۵-۲. ریات P2R
۲۱	شکل ۶-۲. ریات P2R در حالت تعادل
۲۳	شکل ۷-۲. دینامیک مستقیم
۲۳	شکل ۸-۲. دینامیک معکوس
۲۵	شکل ۹-۲. مقادیر q_1 ، q_2 و q_3 در حالت دینامیک معکوس
۲۵	شکل ۱۰-۲. شبیه‌سازی حرکت
۲۵	شکل ۱۱-۲. شبیه‌سازی حرکت در حالت ایستاده در حالت گام برداشتن
۲۶	شکل ۱۲-۲. حل معادلات دیفرانسیل خطی و غیرخطی حرکت به روش دینامیک مستقیم
۳۰	شکل ۱-۳. مدل DC موتور
۳۴	شکل ۲-۳. الگوریتم کنترل موقعیت و نیرو

- شکل ۳-۳. مدل ساده شده ریبات راهرونده ۳۵
- شکل ۳-۴. مدلسازی ریبات راهرونده در Simulink ۳۷
- شکل ۳-۵. مقدار زاویه q_2 در شبیه‌سازی مدار بسته ۳۸
- شکل ۳-۶. مقدار نیرو عمودی FN در شبیه‌سازی مدار بسته ۳۹
- شکل ۳-۷. مقدار خطاء زاویه q_2 در شبیه‌سازی مدار بسته ۴۰
- شکل ۳-۹. مدلسازی ریبات راهرونده در mu-tools ۴۱
- شکل ۳-۸. عدم قطعیت q_2 ۴۳
- شکل ۳-۱۰. پایداری مقاوم و عملکرد نامی سیستم ۴۴
- شکل ۴-۱. نقشه مونتاژ ریبات راهرونده P2R ۴۸
- شکل ۴-۲. برنامه کنترل و اندازه‌گیری موقعیت و نیرو ۵۰
- شکل ۴-۳. نتایج آزمایش حرکت ریبات بصورت مدار باز ۵۱
- شکل ۴-۴. نتایج آزمایش کنترلر PID با ضرایب (۲-۴) ۵۲
- شکل ۴-۵. نتایج آزمایش کنترلر PID با ضرایب (۳-۴) ۵۳
- شکل ۴-۶. نتایج آزمایش کنترلر PID با وزنه ۵۲۵gr ۵۴
- شکل ۴-۷. تصویر ریبات P2R ساخته شده ۵۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

یکی از آرزوهای بزرگ بشر ساخت رباتهای همانند انسان^(۱) و استفاده از آنها بوده است. اما مشکلات اساسی در برابر این هدف وجود دارد که اهم آنها عبارتند از:

هوشمندی لازم برای ربات، قابلیت درک و حس نسبت به محیط اطراف، قدرت بینایی و تکلم و همچنین ابتدایی تر از همه توانایی راه رفتن مانند انسان.

حل معضل اساسی حرکت ربات راهرونده در قالب بسیاری از پروژه‌ها و تحقیقات دینامیک و کنترل ربات‌های راهرونده در حال انجام می‌باشد. قابلیت‌های حرکتی بالای یک ربات راهرونده در انواع مختلف زمینها و محیطها با موانع مختلف باعث گسترش ساخت رباتهای دوپا^(۲)، چهارپا^(۳)، شش پا^(۴) و انجام تحقیقات مختلف بر روی آنها شده است.

کنترل نیرو از دیگر مباحث علم رباتیک می‌باشد که استفاده گسترده ربات‌های صنعتی را در عملیات مونتاژ، سنگزنی، پرداخت سطوح و مت‌زنی امکان‌پذیر ساخته است، کنترل ربات راهرونده بر روی یک سطح سخت تنها با کنترل موقعیت بخوبی انجام می‌گیرد ولی زمانیکه ربات راهرونده بر روی یک سطح نرم مانند زمین خاکی گام برمی‌دارد، کنترل نیرو برای نگهداری یک

-
1. Humanoid robot
 2. biped
 3. quadruped
 4. Hexapod

حرکت هموار ضروری می‌باشد. نکته بسیار مهم در کنترل نیرو وابستگی نیروی عکس‌العمل با سطح تماس (سنگفرش، شن‌زار، زمین خاکی، زمین ماسه‌ای و غیره) می‌باشد.

وجود پارامترهای متغیر ذکر شده، عدم قطعیت‌های ساختار یافته^(۱) و ساختار نیافته^(۲) مدلسازی و اغتشاشات محیط ضرورت طراحی کنترل خاص را می‌طلبد.

در تحقیقات مختلف انواع کنترلرهای PID، مقاوم، تطبیقی^(۳)، شبکه عصبی^(۴) (NN)، فازی^(۵) و یا ترکیبی از این کنترلرها مورد استفاده قرار گرفته است. در این پروژه مدل مناسبی برای تحلیل ربات راهرونده در نظر گرفته شده است. سپس معادلات دینامیکی این ربات بروش Kane بدست آمده است و این معادلات به دو روش دینامیک مستقیم و معکوس حل گردیده‌اند و در بخش کنترل، کنترلر مقاوم مناسب برای ربات طراحی گردیده است و سیستم بشکل مدار بسته با کنترلر طراحی شده شبیه‌سازی گردیده است و در آخرین مرحله، این ربات ساخته شده و بطور تجربی کنترلر مقاوم آزمایش شده است.

۱-۲-۲- مروری بر تاریخچه تحقیقات

۱-۲-۱- کنترل نیروی ربات^(۶)

در طی چندین سال گذشته، کنترل حرکت انعطاف‌پذیر^(۷) بعنوان یکی از مباحث پرجاذبه

-
1. Structured uncertainty
 2. Unstructured uncertainty
 3. Adaptive
 4. Neural networks
 5. Fuzzy
 6. Robot force Control
 7. Compliant motion control