



دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق - گروه کنترل

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی برق

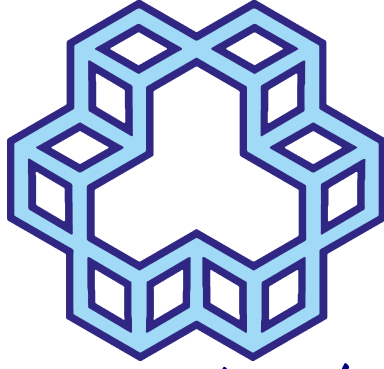
ارائه فرمول بندی یکپارچه بهینه سازی مبتنی بر گراف به منظور کالیبراسیون و تخمین حالت ربات

محمد رضا دیندارلو

استاد راهنما

دکتر حمیدرضا تقی راد

تابستان ۱۴۰۳



دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق - گروه کنترل

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد
مهندسی برق

عنوان

ارائه فرمول بندی یکپارچه بهینه سازی مبتنی بر
گراف به منظور کالیبراسیون و تخمین حالت ربات

نگارش

محمد رضا دیندارلو

استاد راهنما

دکتر حمیدرضا تقی راد

استادان مشاور

دکتر فلیپ کاردو و دکتر سید احمد خلیل پور

تابستان ۱۴۰۳



تقدیم به:

به آنان که با علم خود زندگی آزاد می سازند



تأییدیه هیئت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

هیأت داوران پس از مطالعه‌ی پایان‌نامه و شرکت در جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه تهیه‌شده با عنوان «ارائه فرمول بندی یکپارچه بهینه سازی مبتنی بر گراف به منظور کالیبراسیون و تخمین حالت ربات» توسط آقای / خانم محمدرضا دیندارلو صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی برق در تاریخ تابستان ۱۴۰۳ مورد تأیید قرار دادند.

۱. استاد راهنما: دکتر حمیدرضا تقی راد..... امضا

۲. استاد مشاور: دکتر فلیپ کاردو..... امضا

۳. استاد مشاور: دکتر سید احمد خلیل پور..... امضا

۴. استاد داور داخلی: دکتر داور داخلی..... امضا

۵. استاد مدعو: دکتر داور خارجی..... امضا

۶. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر نماینده..... امضا



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اظهارنامه دانشجو

اینجانب محمدرضا دیندارلو به شماره دانشجویی ۴۰۰۳۰۸۲۴ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق دانشکده برق دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه با عنوان:

ارائه فرمول بندی یکپارچه بهینه سازی مبتنی بر گراف به منظور کالیبراسیون و تخمین حالت ربات

توسط اینجانب انجام و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی و غیره) با اینجانب رفتار خواهد شد. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمدرضا دیندارلو

تاریخ و امضای دانشجو:



حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسندگان آن می باشد. بهره برداری از این پایان نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می گردد، بلامانع است:

☐ بهره برداری از این پایان نامه برای همگان و با ذکر منبع، بلامانع است.

☐ بهره برداری از این پایان نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما و با ذکر منبع، بلامانع است.

☐ بهره برداری از این پایان نامه تا تاریخ _____ ممنوع است.

استاد راهنما: دکتر حمیدرضا تقی راد امضا

استاد مشاور: دکتر فلیپ کاردو امضا

استاد مشاور: دکتر سید احمد خلیل پور امضا

قدردانی

اکنون که به یاری پروردگار و یاری و راهنمایی اساتید بزرگ موفق به پایان این رساله شده‌ام وظیفه خود دانسته که نهایت سپاسگزاری را از تمامی عزیزانی که در این راه به من کمک کرده‌اند را به عمل آورم: در آغاز از استاد بزرگ و دانشمند جناب آقای/سرکار خانم که راهنمایی این پایانامه را به عهده داشته‌اند کمال تشکر را دارم. از جناب آقایان/ خانم‌ها که اساتید مشاور این پایانامه بوده‌اند نیز قدردانی می‌نمایم. از داوران گرامی ... که زحمت داوری و تصحیح این پایانامه را به عهده داشتند کمال سپاس را دارم. خالصانه از تمامی اساتید و معلمان و مدرسانی که در مقاطع مختلف تحصیلی به من علم آموخته و مرا از سرچشمه دانایی سیراب کرده‌اند متشکرم. از کلیه هم دانشجویان و همراهان عزیز، دوستان خوبم خانم‌ها و آقایان نهایت سپاس را دارم. و در پایان این پایان‌نامه را تقدیم می‌کنم به که با حضورش و همراهی اش همیشه راه را به من نشان داده و مرا در این راه استوار و ثابت قدم نموده است.

محمد رضا دیندارلو

تابستان ۱۴۰۳

چکیده

واژگان کلیدی

فهرست مطالب

پ	فهرست تصاویر
ت	فهرست جداول
ث	فهرست الگوریتم‌ها
ج	فهرست برنامه‌ها
۱	فصل ۱: مقدمه
۳	فصل ۲: مروری بر مطالعات انجام شده
۵	فصل ۳: موقعیت‌یابی و کالیبراسیون به صورت همزمان یک ربات کابلی با در نظر گرفتن کابل‌ها به صورت جسم صلب
۵	۱.۳ مقدمه
۷	فصل ۴: موقعیت‌یابی و کالیبراسیون به صورت همزمان یک ربات کابلی با در نظر گرفتن شکم دهی کابل‌ها
۹	فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای آینده
۱۱	مراجع
۱۳	پیوست آ: آشنایی سریع با برخی دستورات لاتک

پیوست ب: جدول، نمودار و الگوریتم در لاتک ۱۵

پیوست پ: مراجع، واژه‌نامه و حاشیه‌نویسی ۱۷

فهرست تصاویر

فهرست جداول

فهرست الگوریتم‌ها

فهرست برنامه‌ها

فصل ۱

مقدمه

در این بخش، به مرور کارهای انجام شده پیشین در این موضوع پرداخته‌ایم. سپس، به بررسی ضعف‌ها و خلأهای موجود در این حوزه می‌پردازیم. پس از آن، فرضیات مطرح شده در تحقیق حاضر توضیح داده می‌شوند. در ادامه، به معرفی دقیق تحقیقات انجام شده توسط خودمان می‌پردازیم، که شامل بخش‌هایی است که به عنوان novelty در نظر گرفته شده‌اند. باید توجه داشت که موارد مطرح شده در این فصل باید مختصر و کلی باشند، و جزئیات بیشتر به فصل‌های آتی اختصاص داده شود.

فصل ۲

مروری بر مطالعات انجام شده

این بخش باید حداکثر شامل ۲۵ صفحه باشد و به پیشینه تحقیق و استناد به کارهای پیشین در این حوزه بپردازد. این بخش متشکل از سه قسمت است که به ترتیب به کالیراسیون، موقعیت یابی، و فکتور گراف می پردازند.

فصل ۳

موقعیت‌یابی و کالیبراسیون به صورت همزمان یک ربات کابلی با در نظر گرفتن کابل‌ها به صورت جسم صلب

۱.۳ مقدمه

در این فصل ابتدا نگاهی اجمالی بر حل مسئله سینماتیک یک ربات چهار کابلی فروتحریک معلق خواهیم داشت. سپس با استفاده از معادلاتی که در سینماتیک ربات استخراج شده است در این فصل پایه و اساس کارهای روح الله باید گفته شود.

همانطور که در فصل قبل ذکر شد، اگرچه سنسورهای فضای مفصل سریع و ارزان هستند، اما زمانی که از آنها برای اندازه‌گیری مقادیر مجری نهایی استفاده می‌شود، دقت مدل سینماتیکی برای تعیین دقت قابل دستیابی بسیار مهم است.

علاوه بر این، در زمینه تلفیق و ترکیب اندازه‌گیری‌ها، هم‌ثبت داده‌ها [۱] اولین گام اساسی است. به عبارت دیگر، سنسورها باید اندازه‌گیری‌های خود را در یک چارچوب مختصات یکپارچه ارائه دهند. اهمیت هم‌ثبت به دلیل فرض اساسی نویز گاوسی با میانگین صفر در الگوریتم‌های تلفیق داده‌ها است. نکته دوم که باید به آن توجه داشت این است که برای روبات‌های قابل استقرار، الگوریتم کالیبراسیون پیشنهادی نباید به سنسورهای گران‌قیمت و سخت برای نگهداری نیاز داشته باشد. علاوه بر این، فرآیند کالیبراسیون باید به اندازه‌ای ساده باشد که اجرای

آن در مکان‌های مختلف آسان باشد. بنابراین با اینکه کالیبراسیون موضوعی است که بسیاری از پژوهشگران به آن علاقه‌مند هستند، اما مفهوم بهره‌گیری از چندین سنسور برای بهبود نتایج کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، الگوریتم کالیبراسیون یکپارچه و قابل گسترش در ادبیات برای روبات‌های کابلی وجود ندارد. بنابراین در این فصل، رویکردی چند سنسوره برای توسعه الگوریتم کالیبراسیون آگاه به نیرو برای روبات‌های کابلی ارائه شده است. علاوه بر این، یک سیستم کالیبراسیون یکپارچه بر اساس گراف‌های فاکتور و کتابخانه GTSAM پیشنهاد شده است. خواننده می‌تواند برای جزئیات بیشتر در مورد گراف‌های فاکتور و کاربردهای آنها در روباتیک به پیوست A مراجعه کند. dsdfsd یسبسیس

فصل ۴

موقعیت‌یابی و کالیبراسیون به صورت همزمان یک ربات کابلی با در نظر گرفتن شکم دهی کابل‌ها

در فصل قبل کالیبراسیون و موقعیت‌یابی ربات کابلی با فرض در نظر گرفتن کابل‌های ربات به صورت جسمی صلب مورد بررسی قرار گرفت. علی‌رغم اینکه در نظر گرفتن این فرض موجب کاهش یافتن بار محاسباتی و ساده‌تر شدن مسئله می‌شود، این فرض تا زمانی صادق خواهد بود که مطابق معیار ارایه شده در [۱] نسبت جرم کابل به جرم مجری نهایی ربات قابل صرف نظر باشد. به عبارتی دیگر

فصل ۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای آینده

باید بیان کنیم به چه چیزایی رسیدیم و تلفیق‌های ما برای چه چیزی مناسب است. و چرا جذاب و خوب و مناسب و مفید است. اینها باید با زبان نتیجه‌گیری بیان شوند. نباید بازگویی کنیم مثل یک ربات.

مراجع

- [1] Pott, Andreas and Bruckmann, Tobias. *Cable-driven parallel robots*. Springer, 2013.

پیوست آ

آشنایی سریع با برخی دستورات لاتک

پیوست ب

جدول، نمودار و الگوریتم در لاتک

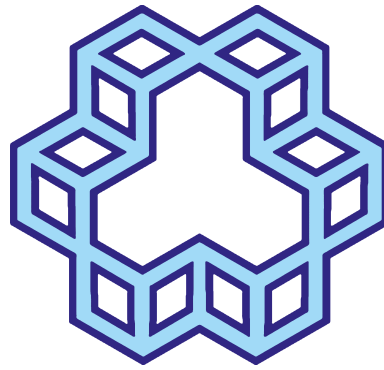
پیوست پ

مراجع، واژه‌نامه و حاشیه‌نویسی

Abstract

This thesis studies on writing projects, theses and dissertations using kntu-thesis class.
It ...

Keywords Writing Thesis, Template, L^AT_EX, X_YY Persian



K. N. Toosi University of Technology
Faculty of ...- ... Group

Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Science (M.Sc.)
in ... Engineering

Prepared template for writing projects, theses, and dissertations of K. N. Toosi university of technology

By:
Mohammad Sina Allahkaram

Supervisors:
First Supervisor and Second Supervisor

Advisors:
First Advisor and Second Advisor

Winter 2023