



دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق - گروه کنترل

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی برق

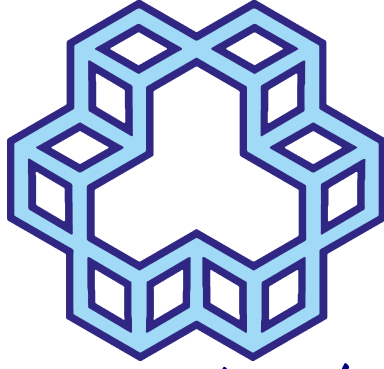
ارائه فرمول بندی یکپارچه بهینه سازی مبتنی بر گراف به منظور کالیبراسیون و تخمین حالت ربات

محمد رضا دیندارلو

استاد راهنما

دکتر حمیدرضا تقی راد

تابستان ۱۴۰۳



دانشگاه خواجہ 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 حمید رضا 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
۶	۱.۱.۳ روش‌های مرسوم مسئله کالیبراسیون
۸	۱.۱.۱.۳ ترکیب حسگرها
۸	۲.۱.۱.۳ ترکیب شبه اندازه‌گیری‌ها
۹	۲.۱.۳ روش‌های مرسوم مسئله موقعیت‌یابی
۱۱	فصل ۴: موقعیت‌یابی و کالیبراسیون به صورت همزمان یک ربات کابلی با در نظر گرفتن شکم دهی کابل‌ها

۱۳	فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای آینده
۱۵	مراجع
۱۷	پیوست آ: آشنایی سریع با برخی دستورات لاتک
۱۹	پیوست ب: جدول، نمودار و الگوریتم در لاتک
۲۱	پیوست پ: مراجع، واژه‌نامه و حاشیه‌نویسی

فهرست تصاویر

۱.۳ ۷

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

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 همجوشی و ترکیب اندازه‌گیری‌ها، هم‌ثابت کردن داده‌ها [۱] اولین گام اساسی است. به عبارت دیگر، حسگرها باید اندازه‌گیری‌های خود را در یک مختصات یکپارچه ارائه دهند. اهمیت هم‌ثابت به دلیل فرض اساسی نویز گاوسی با میانگین صفر در الگوریتم‌های ترکیب داده‌ها می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر برای ربات‌های آسان نصب، لزوم بی‌نیازی الگوریتم کالیبراسیون پیشنهادی به حسگرهای گران‌قیمت و یا حسگرهایی که نیاز به تعمیر و نگهداری سطح بالایی هستند می‌باشد. علاوه بر این، فرآیند کالیبراسیون باید به اندازه‌ای ساده باشد که اجرای آن در مکان‌های مختلف آسان و سریع باشد. با اینکه کالیبراسیون موضوعی است که بسیاری از پژوهشگران به آن علاقه‌مند هستند، اما مفهوم بهره‌گیری از چندین حسگر برای بهبود نتایج کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، الگوریتم کالیبراسیون یکپارچه و قابل گسترش در ادبیات برای ربات‌های کابلی وجود ندارد.

از طرفی دیگر، افزون بر مفهوم و ضرورت کالیراسیون در این ربات ها، موقعیت یابی این ربات ها نیز مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. همانطور که پیش تر بیان شد، الگوریتم های بسیاری در راستای ترکیب حسگرها و همچنین کاهش زمان پردازش برای موقعیت یابی ربات به صورت زمان-واقعی در انواع دیگر ربات ها همچون ربات های خودران مورد استفاده قرار گرفته است.

آنچه در ادامه این رساله مورد توجه قرار می گیرد، آدرس دهی جامع برای حل تمامی موارد بیان شده در بالا می باشد. بدین منظور، رویکردی معرفی می شود که در وهله اول مسائل کالیراسیون و موقعیت یابی را به صورت یک مسئله یکپارچه در یک قاب ببیند و سپس انعطاف پذیری الگوریتم مجال افزودن حسگرهای اضافی را فراهم نماید. چنین رویکردی نه تنها انجام دو فرآیند مجزای کالیراسیون و موقعیت یابی را به یک فرآیند ترکیب شده و همزمان تبدیل می کند، بلکه به راحتی می تواند به دیگر الگوریتم های ادبیات موضوع افزوده شود. نتیجه این رویکرد علاوه بر افزایش دقت نهایی این فرآیندها، مفهومی حقیقی تر به آسان نصب بودن به این دسته از ربات های کابلی می بخشد. الگوریتم پیشنهادی برای فرمول بندی این مسئله با آدرس دهی آنچه مورد نیاز ما است، الگوریتم گراف عامل می باشد. ویژگی های منحصر به فرد این الگوریتم در حل مسائل تنک مانند مسئله موقعیت یابی و نقشه برداری به صورت بر خط باعث استفاده زیادی از این فرمول بندی برای طیف وسیعی از کاربرد های رباتیکی در سال های اخیر شده است.

در این فصل حل مسئله موقعیت یابی و کالیراسیون به صورت همزمان برای یک ربات کابلی فروتحریک با در نظر گرفتن فرض اساسی صلب بودن کابل ها مورد بررسی قرار می گیرد. در حالی که فرمول بندی مسئله با در نظر گرفتن این فرض بسیار ساده تر می شود، تا زمانی که شکم دهی کابل ها ناشی از جرم آنها بسیار ناچیز باشد، قابل قبول خواهد بود. حل این مسئله برای کابل شکم دار منجر به ایجاد چالش هایی می گردد که در فصل آتی به صورت مفصل به آنها پرداخته می شود و در نهایت با رویکرد پیشنهادی بار دیگر حل می گردد.

۱.۱.۳ روش های مرسوم مسئله کالیراسیون

به صورت کلی، انتظار می رود چنانچه به یک ربات در دنیای واقع یک ورودی مشخص اعمال شود، با اعمال همان ورودی به مدل پاسخی یکسان دریافت شود. با این حال همواره وجود نامعینی ها و عدم دقیق بودن پارامتر های مدل در واقعیت ما را از رسیدن به چنین پاسخی ایده آل باز می دارد. این نامعینی ها می تواند ناشی از تقریب هایی باشد که در مدل داریم و یا پدیده هایی که در مدل سازی مورد توجه کامل قرار نگرفته اند. جنس این نامعینی ها می تواند ریشه در سینماتیک ربات و یا دینامیک آن باشد. فرآیند کالیراسیون می تواند این نامعینی ها را در جهتی کاهش دهد که پاسخ هایی که از مدل و ربات در پیاده سازی واقعی دریافت می کنیم، کاهش پیدا کند. آنچه در این کار مورد بررسی قرار گرفته است کالیراسیون سینماتیکی می باشد. شکل ۱.۳ نمایش بلوکی از یک



شکل ۱.۳

فرآیند کالیبراسیون سینماتیکی بنا بر تعریف بیان شده می باشد. همانطور که در این شکل مشاهده می شود آنچه به عنوان خطا در نظر گرفته می شود تفاوت موقعیت فضایی ربات است که ناشی از مدل سینماتیکی ربات (در اینجا سینماتیک مستقیم) و ربات واقعی در فضای کاری ربات، با یک ورودی مشترک در فضای مفصلی آن می باشد.

با نگاهی به آخرین تحقیقات بر روی مسئله کالیبراسیون ربات ها، ایجاد یک مسئله بهینه سازی غیرخطی و حل آن برای یافتن مقادیر دقیق این پارامتر های سینماتیکی و دینامیکی ربات مرسوم می باشد [۲، ۳، ۴، ۵]. مطابق این رویکرد های مرسوم، برای ایجاد فرمول بندی مناسب مسئله مطرح شده در شکل ۱.۳ خواهیم داشت:

$$\tilde{\phi} = \arg \min_{\phi} \sum_{n=1}^N \text{error}_i[n] = \arg \min_{\phi} \sum_{n=1}^N \|F_i(q[n], \phi) - X_i[n]\|_{\Sigma}^2 \quad (1.3)$$

در این معادله، بردار پارامتر های سینماتیکی و $\tilde{\phi}$ تخمین آن است. علاوه بر این، $X_i[n]$ ، مقدار اندازه گیری شده توسط حسگر فضای کار ربات، و $q[n]$ مقادیر اندازه گیری های متقابل حسگری در مفاصل می باشد. تابع مدل ربات $F[\cdot]$ بیانگر مدل سینماتیک مستقیم ربات می باشد. تابع هزینه هدف، بر روی مجموعی از N نمونه داده جمع آوری شده در فرآیند کالیبراسیون می باشد. افزون بر این، Σ نیز بیانگر ماتریس کوواریانس اندازه گیری می باشد که به عنوان عامل نرمال سازی برای محاسبه هزینه عمل می کند. هر چه مقدار کوواریانس بیشتر باشد، میزان تاثیر گذاری خطای متقابل آن بر روی تابع هزینه کمتر خواهد بود. همچنین برای محاسبه نرم روش های زیادی ارائه شده است که آنچه بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد نرم های هابر^۱ می باشد [۶]. معادله بهینه سازی غیر خطی بیان شده در ۱.۳ می تواند با روش های بازگشتی الگوریتم های غیر خطی حداقل مربعات^۲ همچون لونبرگ-مارکوارت^۳ و یا روش های گاوس-نیوتون^۴ می باشد [۷].

^۱ Huber norms ^۲ Least-Square ^۳ Levenberg Marquardt (LM) ^۴ Gauss-Newton(GN)

با نگاهی دیگر به دیاگرام مطرح شده در ۱.۳ و همچنین معادله ۱.۳، مشاهده می‌شود که افزایش دقت اندازه‌گیری و همچنین برآورده کردن تمامی قیود مدل می‌تواند منجر به بهبود نتیجه کالیبراسیون شود. به منظور دستیابی به این هدف، رویکردهایی همچون ترکیب چندین حسگر و یا افزودن قیود جدید که از ساختار هندسی ربات استخراج می‌شود، معرفی می‌شوند. ترکیب این حسگرها باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر کاهش خطای نهایی کالیبراسیون، خروج هر کدام از حسگرها منجر به توقف فرآیند کالیبراسیون نشود. همچنین واضح است که افزودن این قیود می‌تواند منجر به حل پیچیده‌تری از مسئله شود. در ادامه، نگاهی به فرمول‌بندی مسئله کالیبراسیون با در نظر گرفتن این ترکیب‌ها خواهیم داشت.

۱.۱.۱.۳ ترکیب حسگرها

در معادله ۱.۳، زیرنویس i بیانگر وجود یک حسگر و خطایی که از مقادیر اندازه‌گیری حسگر در هر نمونه بوده می‌باشد. فرمول‌بندی ساختاری که به صورت همزمان از چندین حسگر در راستای ایجاد تابع هزینه استفاده نماید می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$\tilde{\phi} = \arg \min_{\phi} \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^M W_i \text{error}_i[n] \quad (2.3)$$

در این معادله W_i ها یک پارامتر وزن برای ترکیب چندین منبع اطلاعاتی با توجه به میزان کیفیت و اهمیت آنها می‌باشد.

۲.۱.۱.۳ ترکیب شبه اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری‌های حسگری تنها منبع اطلاعات برای حل مسئله نیستند. ساختار ربات و توجه به هندسه آن برای حل مسئله تعریف شده می‌تواند مفید واقع شود. برای مثال فاصله‌های بین برخی از نقاط می‌تواند با توجه به ساختار ربات می‌تواند ویژگی‌هایی نسبی و یا مطلق داشته باشند. این اطلاعات با عنوان داده‌های شبه اندازه‌گیری شناخته می‌شوند. این دسته از اطلاعات که از قبل مشخص هستند، می‌توانند به صورت قیود به مسئله اضافه شوند. بنابراین مسئله کلی بهینه‌سازی کالیبراسیون ۲.۳ در حضور این قیود به صورت زیر باز نویسی می‌شود.

شود.

$$\tilde{\phi} = \arg \min_{\phi} \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^M W_i \text{error}_i[n] \quad (3.3)$$

$$g_j(\phi) = 0 \quad \text{where} \quad j = 1, \dots, K$$

که در اینجا $g_j(\phi) = 0$ قيود هندسی معلوم بر روی پارامترهای سینماتیکی ربات می باشند.

۲.۱.۳ روش های مرسوم مسئله موقعیت یابی

موقعیت یابی^۱ ربات فرآیند تعیین مکان ربات نسبت به محیط اطراف آن می باشد. دانستن موقعیت دقیق ربات در محیط، پیش نیازی اساسی برای اتخاذ تصمیمات صحیح و حرکت های بعدی مؤثر است. بدون اطلاعات موقعیتی دقیق، ربات نمی تواند مسیر یابی^۲ و یا ردیابی^۳ مناسبی را داشته باشد و ممکن است با موانع برخورد کند یا مسیر بهینه ای را طی نکند [۸]. علاوه بر این، سیستم های کنترلی ربات ها نیازمند اطلاعات دقیق و لحظه ای از موقعیت و جهت گیری ربات هستند تا بتوانند فرمان های مناسب را صادر کنند. بدون داده های دقیق موقعیتی، کنترلرها نمی توانند حرکات دقیقی را تولید کنند که منجر به عملکرد نامناسب و ناپایداری ربات می شود [۹]. فرآیند کالیبراسیون ربات که در بخش ۱.۱.۳ مورد بررسی قرار گرفت نیز یازمند داشتن اطلاعات دقیق از موقعیت ربات است. با داشتن داده های موقعیتی دقیق، می توان خطاهای سیستماتیک را شناسایی و تصحیح کرد و به این ترتیب دقت و کارایی ربات را بهبود بخشید. این امر به ویژه در ربات هایی که نیاز به انجام وظایف حساس و دقیق دارند، حیاتی است.

موقعیت یابی دقیق ربات باعث کاهش عدم قطعیت در تصمیم گیری ها و عملیات ربات می شود. این امر نه تنها به افزایش اعتمادپذیری ربات در انجام وظایف محوله منجر می شود، بلکه احتمال بروز خطاها و حوادث ناشی از اشتباهات موقعیتی را نیز کاهش می دهد. همچنین در سیستم هایی که شامل چندین ربات هستند، اطلاعات دقیق موقعیتی هر ربات برای هماهنگی و همکاری بین ربات ها ضروری است. این اطلاعات به ربات ها کمک می کند تا از موقعیت یکدیگر آگاه باشند و بتوانند به صورت هماهنگ وظایف مشترک را انجام دهند. در این راستا توسعه و بهبود تکنیک های موقعیت یابی به منظور افزایش دقت و کارایی ربات ها، از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۱۰].

روش های ارائه شده برای موقعیت یابی ربات را می توان به سه دسته اصلی مسافت پیمایی^۴، موقعیت یابی

جهانی^۱ و مکان‌یابی و نقشه‌یابی به صورت همزمان^۲ تقسیم کرد. این روش‌ها با توجه به نوع حسگرهای تعبیه شده بر روی ربات می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ترکیب داده‌ها برای همانند آنچه در بخش ۱.۱.۳ مورد توجه قرار گرفت، در موقعیت‌یابی و تخمین حالت ربات نیز می‌تواند نقش موثری را ایفا کند. حسگرهای استفاده شده از نظر نوع حسگر و فرکانس داده برداری نیز می‌تواند متفاوت باشد که در ترکیب داده‌ها خصوصاً زمانی که اجرای الگوریتم به صورت زمان واقعی می‌باشد، چالش برانگیز خواهد بود. طیف وسیعی از روش‌های مرسوم ارائه شده برای ترکیب داده‌ها در راستای تخمین حالت، رویکرد‌های بر مبنای فیلتر هستند. این روش‌ها که به رویکردهای آماری^۳ نیز شناخته می‌شوند، در دو دهه اخیر فعالیت‌های زیادی را به خود اختصاص داده‌اند. پایه این روش‌ها بر قانون بیز^۴ بنا نهاده شده است. [۱۱] دسته‌بندی جامعی از روش‌های فیلتر مبنای تخمین موقعیت ارائه کرده است. از میان روش‌های بیان شده، کالمن فیلتر و فیلترهای ذرات^۵ به عنوان فراگیرترین رویکرد مورد استفاده قرار گرفته شده است. این فیلترها با استفاده از فرض مارکوفی برای حالت‌ها و به کارگیری اطلاعات پیشین، تخمینی از حالت جدید ارائه می‌کنند.

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 [۱۲] 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] Hall, David L and Llinas, James. An introduction to multisensor data fusion. *Proceedings of the IEEE*, 85(1):6–23, 1997.
- [2] Elatta, AY, Gen, Li Pei, Zhi, Fan Liang, Daoyuan, Yu, and Fei, Luo. An overview of robot calibration. *Information Technology Journal*, 3(1):74–78, 2004.
- [3] Idá, Edoardo, Merlet, Jean-Pierre, and Carricato, Marco. Automatic self-calibration of suspended under-actuated cable-driven parallel robot using incremental measurements. in *Cable-Driven Parallel Robots: Proceedings of the 4th International Conference on Cable-Driven Parallel Robots 4*, pp. 333–344. Springer, 2019.
- [4] Idà, Edoardo, Briot, Sébastien, and Carricato, Marco. Identification of the inertial parameters of underactuated cable-driven parallel robots. *Mechanism and Machine Theory*, 167:104504, 2022.
- [5] Ida, Edoardo. Dynamics of undeactuated cable-driven parallel robots. 2021.
- [6] Chang, Lubin, Li, Kailong, and Hu, Baiqing. Huber’s m-estimation-based process uncertainty robust filter for integrated ins/gps. *IEEE Sensors Journal*, 15(6):3367–3374, 2015.
- [7] Dellaert, Frank, Kaess, Michael, et al. Factor graphs for robot perception. *Foundations and Trends® in Robotics*, 6(1-2):1–139, 2017.
- [8] Ahmad, Aamir, Tipaldi, Gian Diego, Lima, Pedro, and Burgard, Wolfram. Cooperative robot localization and target tracking based on least squares minimization. in *2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 5696–5701. IEEE, 2013.
- [9] Guibas, Leonidas J, Motwani, Rajeev, and Raghavan, Prabhakar. The robot localization problem. *SIAM Journal on Computing*, 26(4):1120–1138, 1997.
- [10] Aragues, Rosario, Carlone, Luca, Calafiore, G, and Sagues, C. Multi-agent localization from noisy relative pose measurements. in *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 364–369. IEEE, 2011.

-
- [11] Panigrahi, Prabin Kumar and Bisoy, Sukant Kishoro. Localization strategies for autonomous mobile robots: A review. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(8):6019–6039, 2022.
- [12] 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

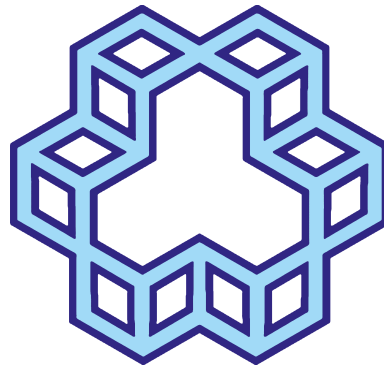
پیوست پ

مراجع، واژه‌نامه و حاشیه‌نویسی

Abstract

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

Keywords Writing Thesis, Template, \LaTeX , \Xy 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