



دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده برق - گروه مخابرات

درس کنترل مبتنی بر پیش بینی مدل دوره کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مخابرات

عنوان

پروپوزال پروژه ی درس کنترل مبتنی بر پیش بینی
مدل (MPC)

نگارش

علیرضا امیری

آبان ۱۴۰۳

فصل ۱

مروری بر مطالعات انجام شده

۱.۱ مقدمه

در این فصل، پژوهش‌های پیشین در زمینه‌ی موتورهای صفحه‌ای مبتنی بر شناوری مغناطیسی (MLPM) با تمرکز بر ویژگی‌های اساسی آنان که به طور کلی در بخش‌های زیر دسته‌بندی شده‌اند، مورد بررسی قرار می‌گیرند. **طراحی کنترلر:** معرفی روش‌های کنترل کلاسیک و مدرن برای این سیستم‌ها و چگونگی بهبود پایداری و دقت حرکت.

در بخش‌های بعد، پژوهش‌های انجام‌شده بر اساس این ویژگی‌ها ارزیابی شده و مزایا و معایب هر روش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲.۱ معماری دستگاه‌های MLPM

سیستم‌های شناوری مغناطیسی به دلیل ماهیت ناپایدارشان بدون استفاده از حلقه‌های کنترلی نمی‌توانند پایداری لازم را فراهم کنند. به همین دلیل، در تمامی ساختارهای پیشنهادی، از سیم‌پیچ‌های الکتریکی برای تولید میدان مغناطیسی با شدت کنترل شده استفاده می‌شود. این سیم‌پیچ‌ها وظیفه دارند تا موقعیت جسم معلق را پایدار کرده و آن را در حالت مطلوب نگه دارند.

در طراحی موتورهای صفحه‌ای، که از دو بخش ثابت^۱ و متحرک^۲ تشکیل شده‌اند، امکان تغییر در طراحی و محل قرارگیری آهنرباهای الکتریکی و دائمی وجود دارد. نیروی مغناطیسی وارد بر بخش متحرک می‌تواند به صورت جاذبه‌ای از بالا یا دافعه‌ای از پایین اعمال شود. با این حال، در موتورهای صفحه‌ای به دلیل لزوم کم بودن فاصله میان سیم‌پیچ‌ها و اجسام معلق، اعمال نیروی جاذبه‌ای از بالا امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل، در تمامی طراحی‌ها، نیروی مغناطیسی دافعه‌ای از سمت پایین به بخش متحرک وارد می‌شود که امکان جابه‌جایی اجسامی که بر روی آنها قرار می‌گیرند را فراهم می‌کند.

با توجه به این موارد، دو طراحی کلی برای ساخت دستگاه‌های MLPM ارائه می‌شود که در ادامه بررسی می‌شوند.

۱.۲.۱ آهنرباهای متحرک و سیم‌پیچ‌های ثابت

معماری دیگری که برای طراحی دستگاه‌های MLPM ارائه شده است، شامل قرار دادن سیم‌پیچ‌ها در بخش استاتور و استفاده از آهنرباهای دائمی در بخش متحرک می‌باشد. این ساختار نوین که در بسیاری از پژوهش‌ها مورد استفاده قرار گرفته، مشکلات معماری‌های پیشین مانند محدودیت جابه‌جایی متحرک ناشی از اتصالات فیزیکی و چالش‌های خنک‌کاری سیم‌پیچ‌ها را برطرف کرده و منجر به بهبود عملکرد کلی سیستم شده است.

در پژوهش [؟] استاتوری با چینش سیم‌پیچ‌ها مطابق با الگوی شاه‌ماهی^۳ طراحی و پیاده‌سازی شده است. این طراحی امکان اعمال نیروی مغناطیسی به دو آهنربای دیسکی تعبیه‌شده در بخش متحرک را فراهم کرده است که دقتی در حدود ۱ درجه در زوایای حرکت و ۱ میلی‌متر در موقعیت متحرک به دست آورده است [؟]. در ادامه این پژوهش، ساختاری جدید برای بخش متحرک ارائه شده که شامل ۶ آهنربای دیسکی با چینش کروی و فواصل ثابت می‌باشد. این طراحی توانسته است چرخش آزادانه متحرک را حول سه محور ممکن سازد [؟]. همچنین در پژوهش [؟] نیز از این چینش سیم‌پیچ‌ها استفاده شده و مطابق با شبیه‌سازی‌های ارائه شده، مزیت آنان در ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت‌تر در نواحی کناری سیم‌پیچ‌ها نمایش داده شده است.

¹Stator ²Mover ³Herringbone pattern

۳.۱ طراحی کنترلر

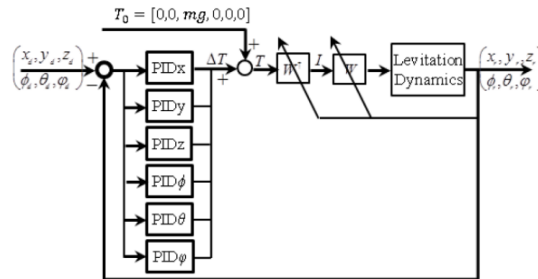
همان طور که پیش تر اشاره شد، سیستم های شناوری مغناطیسی ذاتاً ناپایدار هستند و برای دستیابی به پایداری، به کنترلی با عملکرد دقیق و خطای کم نیاز است. در پژوهش های مختلف، از کنترلرهای گوناگونی برای این سیستم ها بهره گرفته شده است؛ از جمله کنترلرهای کلاسیک نظیر، PID کنترلرهای مدرن مانند کنترل مبتنی بر پیش بینی مدل (MPC) و همچنین مدل های مبتنی بر هوش مصنوعی نظیر شبکه های بازگشتی. GRU. در این بخش، به بررسی این کنترلرها و مقایسه عملکرد آنها خواهیم پرداخت.

۱.۳.۱ کنترلر PID

کنترل تناسبی-انتگرالی-مشتقی (PID) به عنوان یکی از پرکاربردترین و موثرترین کنترلرهای کلاسیک در سیستم های دینامیکی، گزینه ای مناسب برای کنترل سیستم های MLPM محسوب می شود. این کنترلر به دلیل سادگی در پیاده سازی، تنظیم دقیق و توانایی تنظیم خروجی سیستم بر اساس خطاهای ورودی، به طور گسترده در سیستم های مختلف استفاده شده است. برای کنترل سیستم های MLPM به ازای هر درجه آزادی یک کنترلر PID طراحی و پیاده سازی می شود تا بتواند جریان الکتریکی سیم پیچ ها را تنظیم کرده و میدان مغناطیسی لازم برای ایجاد و حفظ موقعیت متحرک را تأمین کند.

در پژوهش های متعددی از کنترلر PID برای سیستم های MLPM بهره گرفته شده است. به عنوان مثال، در [؟، ؟] از کنترلرهای PID ساده برای کنترل جریان سیم پیچ ها استفاده شده که وظیفه تنظیم میدان مغناطیسی و در نتیجه، کنترل موقعیت جسم متحرک را بر عهده دارند. علاوه بر این، در پژوهش [؟]، از دو کنترلر PID در یک ساختار دوگانه استفاده شده است. کنترلر اول برای جابه جایی های بلند و در مسافت های طولانی به کار رفته و جریان سیم پیچ های اصلی را تنظیم می کند، در حالی که کنترلر دوم برای حرکات دقیق کوتاه برد طراحی شده و کنترل جریان سیم پیچ های ثانویه را بر عهده دارد. این روش باعث بهینه سازی کنترل دقیق و بهبود دقت در حرکات کوتاه برد و جابه جایی های سریع می شود. همچنین در سیستم، MagTable برای کنترل دقیق موقعیت آهنرباهای دائمی، از شش کنترلر PID به صورت همزمان استفاده شده است تا نیروی متوازن برای پایداری سازی موقعیت متحرک در چندین جهت فراهم شود [؟]. این نوع طراحی و استفاده از کنترلرهای PID نشان می دهد که علی رغم محدودیت های موجود در کنترلرهای کلاسیک، این روش همچنان در بسیاری از سیستم های مغناطیسی

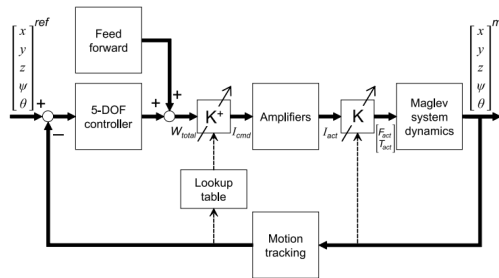
پیچیده مانند MLPM کارایی بالایی دارد.



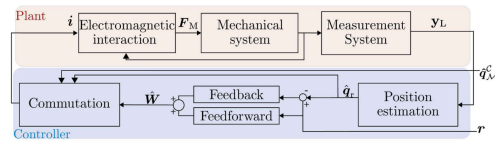
شکل ۱.۱: کنترلر PID با ۶ درجه آزادی [۹]

۲.۳.۱ کنترلر مبتنی بر پیش‌بینی مدل MPC

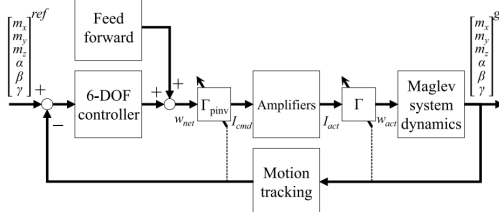
برای کنترل سیستم‌های MLPM اگر مدل سیستم به روش‌های تحلیلی و یا عددی به دست آمده و تخمین زده شده باشد، می‌توان از این مدل‌ها برای طراحی کنترلرهای پیشرفته‌تر با هدف پیش‌بینی رفتار سیستم و استفاده از آن به صورت پیش‌خور در حلقه‌ی کنترلی استفاده کرد. روش‌های تخمین مدل این سیستم‌ها در بخش‌های بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بخش، کنترلرهای ارائه شده در پژوهش‌های دیگر ارائه می‌شود. به دست آوردن معادلات دینامیکی سیستم و استفاده از آنها در پیش‌بینی روشی تحلیلی است که در [۹] استفاده شده است و مدل کنترلی متشکل از بلوک‌های پس‌خور و پیش‌خور برای کنترل موقعیت آهنربا طراحی شده است. همچنین در [۹] از یک جدول جستجو برای تعیین رفتار سیستم در نقاط مختلف فضا استفاده شده است که این جدول به عنوان پیش‌خور به مدل کنترلی داده می‌شود. در ادامه‌ی این پژوهش، با استفاده از روش‌های شناسایی سیستم، مدلی تقریبی برای رفتار سیستم در نظر گرفته شده است و با استفاده از این مدل برای پیش‌بینی رفتار سیستم مدل MPC پیاده‌سازی شده است. پژوهش [۹] با تمرکز بر ارائه‌ی یک مدل پیش‌بین، با استفاده از معادلات دینامیکی سیستم و همچنین روش پیش‌بینی حالت بی‌تاخیر، رفتار آینده‌ی سیستم را محاسبه می‌کند.



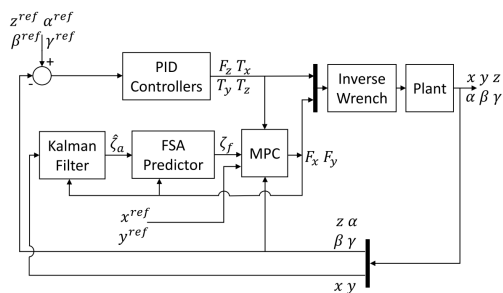
[۹] (ب)



[۹] (ت)



[۹] (د)



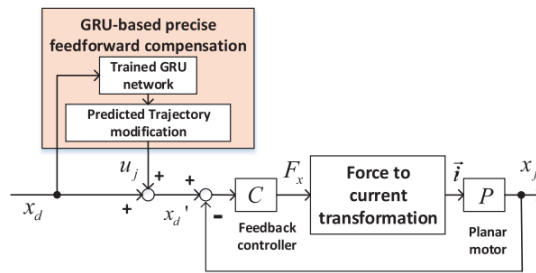
[۹] (ج)

شکل ۲.۱: کنترلر MPC

۳.۳.۱ کنترلر مبتنی بر هوش مصنوعی

یکی از روش‌های نوین برای پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده مانند، MLPM استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی به‌ویژه شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN) است. این مدل‌ها با یادگیری دینامیک سیستم و ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها، می‌توانند به‌طور مؤثری رفتار سیستم را در شرایط مختلف پیش‌بینی کنند. در این راستا، پژوهش [۹] از یک مدل بازگشتی GRU^۱ استفاده کرده است. این مدل بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از عملکرد دستگاه MLPM آموزش دیده و توانسته است با دقت بالا تغییرات دینامیکی سیستم و پاسخ آن به ورودی‌های گوناگون را پیش‌بینی کند. استفاده از GRU به دلیل توانایی آن در مدل‌سازی وابستگی‌های زمانی و در نظر گرفتن اطلاعات قبلی برای پیش‌بینی‌های دقیق‌تر، رویکردی مناسب در این پژوهش بوده است. (شکل ۳.۱)

^۱Gated Recurrent Unit



شکل ۳.۱: کنترلر پیش‌خور GRU [۴]

۴.۱ کنترلر پیشنهادی

با بررسی موارد ذکر شده در قسمت های پیشین، در این پژوهش تلاش می شود تا با استفاده از سیستم شناوری

مغناطیسی ذکر شده در [۴] یک کنترلر مبتنی بر پیش بینی مدل