بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده:

روباتیک و اتوماسیون در بسیاری از موارد می‌تواند ایمنی، میزان تولید، راندمان و کیفیت محصولات را افزایش دهد. روبات‌ها از جمله بازوهای مکانیکی در طی سال‌های اخیر به شکل قابل ملاحظه‌ای تکمیل یافته و پیشرفت کرده‌اند. بازوهای مکانیکی توانایی انجام عملیات از پیش برنامه‌ریزی شده متنوعی را در صتایع مختلف دارند. بنابراین نیاز به سرعت، دقت و کنترل بهتری دارند. در این پایان‌نامه ابتدا یک مدل بازوی روبات دو درجه آزادی (2R) که هر کدام از رابط‌های بازو حول یک محور، حرکت چرخشی و همچنین محدودیت زاویه‌ای نیز دارند، در نرم‌افزار SolidWorks™ طراحی شده است. سپس به محیط شبیه‌سازی Matlab® انتقال داده شده است. در نهایت کنترل موقعیت آن مورد بررسی قرار گرفته است. روش‌های متعددی برای کنترل موقعیت این سیستم وجود دارد. در این پایان‌نامه از کنترل‌کننده تطبیقی PIP (Proportional Integral Plus) استفاده شده است. ساختار این کنترل‌کننده بهینه است و بر مبنای تئوری LQ (Linear Quadratic) می‌باشد. این تئوری با استفاده از حل معادله جبری ریکارتی کنترل‌کننده‌ای با ساختار پایدار می‌دهد. پس می‌تواند جایگزینی برای کنترل‌کننده‌های موجود باشد. برای بهینه‌سازی پارامترهای کنترل‌کننده فوق ذکر از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که این بهینه‌سازی به منظور بهبود رفتار بازوی روبات و کاهش زمان اجرا، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله از کنترل‌کننده همان طور که در پایان‌نامه نشان داده شده است نتیجه عملکرد خوبی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: بازوی روبات، شناسایی، کنترل موقعیت، کنترل‌کننده تطبیقی، بهینه‌سازی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق ۳

۱-۲- نوآوری و کاربرد ۳

۱-۳- اهداف تحقیق ۳

۱-۴- فرضیات ۴

۱-۵- ساختار پایان‌نامه ۴

فصل دوم: مقدمه‌ای بر روباتیک و مروری بر تحقیقات پیشین **۵**

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- روباتیک ۷

۲-۲-۱- مزایای روبات‌ها ۷

۲-۲-۲- معایب روبات‌ها ۷

۲-۲-۳- اجزای روبات‌ها ۷

۲-۳- انواع روبات‌های صنعتی ۸

۲-۳-۱- انواع روبات‌های صنعتی غیر متحرک ۹

۲-۳-۲- بازوهای مکانیکی ۱۰

۲-۳-۲-۱- سینماتیک بازوهای مکانیکی ۱۱

۲-۳-۲-۲- رابط ۱۱

۲-۳-۲-۳- مفصل ۱۱

۲-۳-۲-۴- مجری نهایی ۱۲

۲-۴- مروری بر کارهای گذشته ۱۳

۲-۵- دینامیک بازوهای مکانیکی ۲۴

۲-۵-۱- روش لاگرانژ در به دست آوردن معادلات دینامیکی ۲۵

فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی سیستم **۳۳**

۳-۱- مقدمه ۳۴

۳-۲- طراحی بازوی مکانیکی به کمک نرم‌افزار Solidworks ۳۴

۳-۳- نرم‌افزار ®Matlab ، ابزاری نیرومند برای شبیه‌سازی ۳۶

۳-۳-۱- جعبه‌ابزار SimMechanics ۳۷
۳-۳-۱-۱- بلوک Bodies ۳۸
۳-۳-۱-۲- بلوک Joints ۳۸
۳-۳-۱-۳- بلوک Sensor & Actuator ۳۸
۳-۴- محدود کردن حرکت بازوی روبات ۳۹
فصل چهارم: کنترل سیستم **۴۱**
۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- کنترل‌کننده تطبیقی ۴۳
۴-۲-۱- استراتژی کنترل ۴۹
۴-۲-۲- بهینه‌سازی کنترل‌کننده تطبیقی ۵۰
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها **۵۴**
۵-۱- مقدمه ۵۵
۵-۲- جمع‌بندی نتایج حاصله ۵۵
۵-۳- پیشنهادها ۵۶
مرجع‌ها **۵۷**
پیوست‌ها **۵۹**
پیوست (الف): معادلات مدل‌سازی سیستم در فضای حالت ۵۹
پیوست (ب): برنامه مربوط به کنترل‌کننده غیرخطی PIP ۶۱
پیوست (پ): برنامه مربوط به بهینه سازی کنترل‌کننده غیرخطی PIP ۶۳
پیوست (ت): پارامترهای الگوریتم ژنتیک در خلال شبیه‌سازی برای کنترل‌کننده تطبیقی ۶۳
پیوست (ث): پارامترهای کنترل‌کننده Non-linear PIP ۶۴

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. نمونه‌هایی از بازوهای روبات ۱۱
شکل ۲-۲. انواع مفصل ۱۲
شکل ۲-۳. ناحیه عملکرد بازو روبات ۱۴
شکل ۲-۴. طرح‌واره کنترل روبات توسط دو کنترل‌کننده فازی مجزا از هم ۱۵
شکل ۲-۵. مدل شبیه‌سازی کنترل‌کننده عصبی فازی ۱۶
شکل ۲-۶. نمودار خطای زاویه رابط ۱و ۲ توسط روش کنترل‌کننده PD ۱۷
شکل ۲-۷. . نمودار خطای زاویه رابط ۱و ۲ توسط روش کنترل‌کننده Learning ۱۷
شکل ۲-۸ نمودار خطای زاویه رابط ۱و ۲ توسط روش کنترل‌کننده Adaptive-Learning ۱۸
شکل ۲-۹. طرح آموزش خطای فیدبک ۱۹
شکل ۲-۱۰. مدل چهارچوبه بازو روبات زیست شناسی: a: وضعیت جسم و b: محرک‌های ماهیچه ۱۹
شکل ۲-۱۱. حرکات شبیه‌سازی شده: ستون ۱: پیگیری کردن شمایل دو رابط، ستون ۲:مسیر حرکت، ستون ۳: خطا (ek) ۲۰
شکل ۲-۱۲. مدل کنترل موقعیت رابط روبات رانده شده توسط موتور DC مغناطیسی ۲۲
شکل ۲-۱۳. مدل تکمیل شده مربوط به بازو دو درجه آزادی ۲۳
شکل ۲-۱۴. . نمودار خطای حاصل از مقایسه راه‌حل‌های تحلیلی و SimMech ۲۳
شکل ۲-۱۵. بازوی مکانیکی دو درجه آزادی ۲۶
شکل۳-۱. مدلسازی قطعات بازوی روبات (پایه و دو رابط بازو) ۳۵
شکل۳-۲. مدل مونتاژ شده قطعات بازوی روبات ۳۵
شکل۳-۳. شبیه‌سازی مدل بازو روبات در محیط simulink ۳۶
شکل ۳-۴. بلوک‌های SimMechanics ۳۷
شکل ۳-۵. نحوه اتصال بلوک‌ها به یکدیگر ۳۹
شکل ۴-۱. طرح‌واره روند حل مسئله ۴۹
شکل ۴-۲. کنترل‌کننده تطبیقی NonLinear PIP ۴۹
شکل ۴-۳. نمودار موقعیت Z مجری نهایی بازو روبات ۵۰
شکل ۴-۴. نمودار موقعیت Y مجری نهایی بازو روبات ۵۰
شکل ۴-۵. طرح‌واره بهینه‌سازی کنترل‌کننده ۵۱
شکل ۴-۶ نمودار همگرایی تابع هدف ۵۲

شکل ۴-۷. نمودار موقعیت Z بهینه مجری نهایی بازو روبات ۵۳
شکل ۴-۸ نمودار موقعیت Y بهینه مجری نهایی بازو روبات ۵۳

فهرست علائم

علامت	نشانه
$d(m)$	قطر
G	ماتریس گرانشی
$g(m/s^2)$	ثابت گرانشی
$I_1\ (kg.m^2/rad^2)$	اینرسی رابط اول
$I_2\ (kg.m^2/rad^2)$	اینرسی رابط دوم
$K(J)$	انرژی جنبشی کل
$K_1(J)$	انرژی جنبشی رابط اول
$K_2(J)$	انرژی جنبشی رابط دوم
$L(J)$	لاگرانژ
$l_1(m)$	طول رابط اول
$l_2(m)$	طول رابط دوم
$l_{c1}\ (m)$	فاصله طولی رابط اول تا مرکز جرم
$l_{c2}\ (m)$	فاصله طولی رابط دوم تا مرکز جرم
M	ماتریس جرمی
$m_1(kg)$	جرم رابط اول
$m_2(kg)$	جرم رابط دوم
$U(J)$	انرژی پتانسیل
$U_1(J)$	انرژی پتانسیل رابط اول
$U_2(J)$	انرژی پتانسیل رابط دوم

$V_1(m/s)$	سرعت رابط اول
$V_2(m/s)$	سرعت رابط دوم
$V(\theta,\dot{\theta})$	ماتریس مربوط به گریز از مرکز و کریولیس
$\dot{X}(m/s)$	سرعت
$Y(m)$	موقعیت عرضی
$Y_{tip}(m)$	موقعیت عرضی مجری نهایی
$Z(m)$	موقعیت طولی
$Z_{tip}(m)$	موقعیت طولی مجری نهایی

فهرست علائم یونانی

علامت	نشانه
$\theta(rad)$	جابه‌جایی زاویه‌ای
$\theta_1(rad)$	جابه‌جایی زاویه‌ای رابط اول
$\theta_2(rad)$	جابه‌جایی زاویه‌ای رابط دوم
$\dot{\theta}(rad/s)$	سرعت زاویه‌ای
$\dot{\theta}_1(rad/s)$	سرعت زاویه‌ای رابط اول
$\dot{\theta}_2(rad/s)$	سرعت زاویه‌ای رابط دوم
$\ddot{\theta}(rad/s^2)$	شتاب زاویه‌ای
$\ddot{\theta}_1(rad/s^2)$	شتاب زاویه‌ای رابط اول
$\ddot{\theta}_2(rad/s^2)$	شتاب زاویه‌ای رابط دوم
$\omega(rad/s)$	سرعت زاویه‌ای
$\omega_1(rad/s)$	سرعت زاویه‌ای رابط اول
$\omega_2(rad/s)$	سرعت زاویه‌ای رابط دوم
$\tau(N.m)$	گشتاور

فصل اول

مقدمه

رشد روز افزون دانش بشری، انسان‌ها را با دست‌آوردها و علوم جدیدی آشنا می‌سازد که قبل از آن شاید تنها ریشه در تخیل داشت. روباتیک یکی از تخیلات انسانی است که کم‌کم پا به عرصه واقعیت نهاده است و زندگی بشری را دست خوش تغییرات شگرفی کرده است. روبات‌های امروزی که شامل قطعات الکترونیکی و مکانیکی هستند در ابتدا به صورت بازوهای مکانیکی برای جابه‌جایی قطعات و یا کارهای ساده و تکراری که موجب خستگی و عدم تمرکز کارگر و افت بازده می‌شد، به وجود آمدند. این گونه روبات‌ها جابه‌جاگر (manipulator) نام دارند.

این واضح است که روبات‌ها در صنعت نقش برجسته‌ای دارند و درصد قابل توجه‌ای از روبات‌ها را روبات‌های جابه‌جاگر شامل می‌شوند. جابه‌جایی بازوهای روبات باید با دقت بالایی انجام شود. چون در قسمت‌های مختلف به طور مثال در کارخانجات میکرو چیپ‌ها تا روبات‌های جراح استفاده می‌شوند. یکی از عوامل دقت بهتر، استفاده کنترل مناسب روی روبات است. بنابراین کنترل بازوهای روبات از اهمیت بالایی برخوردار است. روش‌های مختلفی برای کنترل این سیستم‌ها پیشنهاد شده است.

در تعدادی تحقیق ارائه شده [1-4] برای کنترل بازو روبات از روش‌های کنترلی منطق فازی استفاده شده است و منطق فازی بر اساس داده‌های ورودی و خروجی است و ارتباط داده‌ها به صورت عملی مشخص نیست. یا به عبارتی بر اساس ورودی‌ها که وارد و خروجی‌هایی که گرفته شدند اجرا می‌شود و ساختار یافته نیستند. همچنین در اکثر تحقیقات ارائه شده از سیستم‌های با جعبه سیاه استفاده شده است. سیستم‌های جعبه سیاه در محدوده خاصی طراحی می‌شوند. به همین دلیل اگر داده‌ای در این محدوده نداشته نباشیم این سیستم دچار مشکل می‌شود. اما در این پایان‌نامه سیستم مورد نظر بر مبنای مدلی از روبات کار می‌کند. این مدلی است که جزئیات در آن نهفته است. به این معنی که یک مدل جعبه سفید ارائه شده است. در این پایان‌نامه ابتدا مدل بازوی روباتیکی در نرم‌افزار SolidWorks™ [5]، مدلسازی شده است. سپس به محیط شبیه‌سازی انتقال داده شده و سرانجام به کنترل آن در محیط شبیه‌سازی پرداخته است. یکی از روش‌های کنترلی که به منظورهای مختلف به طور مثال برای کنترل دما [۶]، کنترل تهویه [۷] و غیره مورد استفاده قرار گرفته است، روش کنترلی PIP (Proportional Integral Plus) است که محققین بسیاری عملکرد مناسب این کنترل‌کننده را گزارش داده‌اند. هدف این پایان‌نامه این است

که این کنترل‌کننده را روی بازو روبات به منظور کنترل موقعیت بازو اجرا کند و نتیجه عملکرد آن را مورد بررسی قرار دهد.

۱-۱- تعریف مسئله و ضرورت انجام تحقیق

با پیشرفت تکنولوژی و گسترش روزافزون، کاربرد سیستم‌های روباتیکی در زندگی بشر نیاز به مکانیزم‌هایی احساس شد که در عین سادگی در ساختار مکانیکی، مصرف کم انرژی و هزینه ساخت کم بتوانند در کاربردهای متنوع با فضاهای کاری متفاوت قرار گیرند. بسیاری از روبات‌ها در مکان‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که دقت بالایی می‌خواهند. پس به یک کنترل بهینه روی روبات نیاز دارند. برای کنترل مناسب، باید تئوری کنترل مناسب، انتخاب شود که این تئوری کامل، شناسایی منحصر به فردی نیاز دارد. در این پایان‌نامه شناسایی موردنظر غیرخطی و کنترل مورد استفاده، کنترل خطی متغیر با زمان خواهد بود که از کنترل بهینه_تطبیقی PIP استفاده شده است.

۱-۲- نوآوری و کاربرد

در این پایان‌نامه یک مدل جعبه سفید ارائه شده است که قابل تصویر است. روش‌های مختلفی برای کنترل موقعیت این بازوی مکانیکی وجود دارد. ازجمله روش‌های کنترل موقعیت، استفاده از کنترل‌کننده بهینه_تطبیقی PIP است. از آن جایی که استفاده از کنترل تطبیقی PIP به بهبود بهره‌های سیستم کنترلی می‌پردازد، با پیاده‌سازی این نوع کنترل‌کننده روی بازوی روبات، موقعیت مجری نهایی به خوبی کنترل شده است و از الگوریتم ژنتیک برای بهبود رفتار سیستم استفاده شده است. تا با کاهش زمان اجرا، موقعیت مجری نهایی با دقت بالاتری کنترل شود.

۱-۳- اهداف تحقیق

در این پایان‌نامه طراحی مدل و شناسایی غیرخطی موقعیت بازو به صورت خطی متغیر با زمان و استفاده از کنترل‌کننده تطبیقی PIP به طوری که دقت و سرعت حرکت بهینه باشد، مد نظر است.

ابتدا معادلات دینامیکی حاکم بر سیستم را بررسی کرده، سپس موقعیت بازوی روبات را با استفاده از شناسایی غیرخطی تشخیص داده و سپس آن را با کنترل خطی متغیر با زمان کنترل کرده است. همچنین قصد دارد حرکت بازو تا حد امکان نرم، بدون نوسان، سریع و از دقت بالایی برخوردار باشد.

۱-۴- فرضیات

در این پایان‌نامه فرض شده است که بازوی مکانیکی از دو رابط (link)و دو مفصل (joint) تشکیل شده است و رابط‌ها صلب و فقط در یک جهت حرکت چرخشی دارند و هیچ گونه اصطکاکی وجود ندارد و مرکز جرم‌های رابط‌های بازو در وسط رابط‌ها فرض شده‌اند.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل پنج فصل می‌باشد که پس از آشنایی اولیه با موضوع و اهداف متصور از این پایان‌نامه، در فصل دوم مختصری درمورد روباتیک و بازوهای مکانیکی روبات و معادلات حاکم بر آن‌ها، و همچنین بررسی‌های انجام شده در زمینه موضوع مورد نظر ارائه شده است. در فصل سوم بازوی روبات دو درجه آزادی در نرم‌افزار SolidWorks™ طراحی و سپس به نرم‌افزار ®Matlab [۸] انتقال داده شده است. پس از آن شبیه‌سازی سیستم در محیط Simulink این نرم‌افزار، اجرا گردیده است. روش‌های متعددی برای کنترل موقعیت این سیستم وجود دارد که در فصل چهارم کنترل‌کننده بهینه_تطبیقی PIP برای این سیستم مورد بررسی قرار داده شده است.

در نهایت فصل پنجم شامل نتیجه‌گیری‌های کلی و نهایی از مطالعه و بررسی نتایج حاصل از سیستم کنترلی می‌باشد و همچنین چندین پیشنهاد برای ادامه کار بر روی این پایان‌نامه ارائه گردیده است.

فصل دوم

مقدمه‌ای بر روباتیک و مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱- مقدمه

روی هم رفته، بررسی و مطالعه مکانیک و کنترل بازوهای مکانیکی، دانش نوینی نیست. بلکه صرفاً مجموعه‌ای از عناوین برگرفته از زمینه‌های کلاسیک است. مهندسی مکانیک، اسلوب‌هایی را برای مطالعه ماشین‌ها در حالت‌های استاتیکی و دینامیکی ارائه می‌کند. ریاضیات ابزارهایی را برای توصیف حرکات فضایی و سایر خواص بازوی مکانیکی، فراهم می‌آورد. نظریه کنترل وسایلی را برای طراحی و ارزیابی الگوریتم‌هایی به منظور درک نیروها یا حرکت‌های مطلوب فراهم می‌آورد. فنون مهندسی برق، موجبات طراحی حسگرها و محرک‌ها و غیره را برای روبات‌های صنعتی پدید می‌آورد، و علم کامپیوتر ساختن زمینه‌ای برای برنامه‌ریزی این روبات‌ها، به منظور انجام کار مورد نظر، را بر عهده دارد [۹] .

یکی از اساسی‌ترین مسایل در روباتیک طراحی سیستم‌های مکانیکی به منظور جابه‌جایی دقیق بار می‌باشد. برای این منظور از بازوهای مکانیکی مختلف استفاده می‌شود که در چند سال اخیر پیشرفت‌هایی در این زمینه حاصل شده است. کارکردن با آن‌ها و نیز تعمیر و نگهداری‌شان آسان‌تر شده و ارتباط متناسب و بهینه‌ای میان توان کنترل‌پذیری و مهارت آن‌ها ایجاد گشته‌است. طراح روبات باید نکات فراوانی را لحاظ نماید. تعداد و انواع بازوهای مورد نیاز، محل قرارگیری، نوع کنترل‌کننده، محدوده فضای عملکرد حداکثر و حداقل نقطه دسترسی، نوع و ساختار کنترل بازوها توسط کاربر، از آن جمله این موارد است. یکی از اهداف طراح دستیابی به کنترل بازو است که شامل کنترل موقعیت، سرعت و نیرو و یا ترکیبی از آن‌ها می‌باشد. هدف این پایان‌نامه کنترل دقیق موقعیت بازوی مکانیکی، می‌باشد. روش‌های مختلفی برای کنترل موقعیت این سیستم و بهبود عملکرد آن وجود دارد. به منظور رسیدن به این هدف، کتب و مقالاتی، در حد امکان بررسی شده است.

محققین زیادی برای مدلسازی و کنترل بازوهای مکانیکی با درجات آزادی مختلف تلاش کرده‌اند. هر محقق با مدلسازی و روش خاصی، بازوی روبات مورد نظر را، کنترل و برای بهبود عملکرد آن از روش‌های بهینه‌سازی متفاوت استفاده نموده است. در این فصل خلاصه‌ای از روباتیک و بازوهای مکانیکی و معادلات دینامیکی حاکم بر آن و همچنین تحقیقاتی که روی سیستم کنترلی بازوی روبات انجام شده، به صورت خلاصه بیان شده است.

۲-۲- روباتیک

کلمه روبات برای اولین بار در سال ۱۹۲۱ توسط رمان‌نویس اهل چکسلواکی به نام کارل کاپک (Kapec Kerel) در یکی از کتاب‌های وی به نام R.U.R - Rassum's Universal Robots به کار برده شد. وی در این کتاب خدمت‌گزاران مکانیکی را توصیف نمود که قادر بودند تمامی کارهایی را که یک انسان قادر به انجام آن است، انجام دهند. در واقع روبات معادل کلمه کارگر در زبان چک می‌باشد. از آن زمان تا به حال از روبات به عنوان کلمه‌ای برای توصیف تمامی موجودات مکانیکی که قادر به انجام برخی از کارها می‌باشد، استفاده می‌شود. به طور خلاصه و مفید به هر وسیله‌ای که هدایت‌کننده‌ای هوشمند داشته باشد، روبات می‌گویند [۱۰].

۲-۲-۲- مزایای روبات‌ها

۱. روباتیک و اتوماسیون در بسیاری از موارد می‌توانند ایمنی، میزان تولید، بهره و کیفیت محصولات را افزایش دهند.
۲. روبات‌ها می‌توانند در موقعیت‌های خطرناک کار کنند و با این کار جان هزاران انسان را نجات دهند.
۳. روبات‌ها به راحتی محیط اطراف خود توجه ندارند و نیازهای انسانی برای آن‌ها مفهومی ندارد و روبات‌ها هیچ گاه خسته نمی‌شوند.
۴. دقت روبات‌ها خیلی بیشتر از انسان‌ها است آن‌ها در حد میلی یا حتی میکرو اینچ دقت دارند.
۵. روبات‌ها می‌توانند در یک لحظه چند کار را با هم انجام دهند ولی انسان‌ها در یک لحظه تنها یک کار انجام می‌دهند [۱۱].

۲-۲-۳- معایب روبات‌ها

۱. روبات‌ها در موقعیت‌های اضطراری توانایی پاسخگویی مناسب ندارند که این مطلب می‌تواند بسیار خطرناک باشد.
۲. روبات‌ها هزینه‌بر هستند.
۳. قابلیت‌های محدود دارند. یعنی فقط کاری که برای آن ساخته شده‌اند را انجام می‌دهند [۱۱].