دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی

رشته مهندسی برق-قدرت

عنوان پایان نامه : طراحی و ساخت ربات تعادلی دو چرخ با تضمین پایداری در حضور اغتشاش

نگارش

سید محمود موسوی

استاد راهنما

دکتر فرهاد بیات

۱۳۹۷

چکیده :

یکی از مسائل محبوب در علم کنترل پایدارسازی یک پاندول معکوس توسط الگوریتم های کنترلی است و به دلیل غیرخطی بودن و ناپایداری ذاتی پاندول معکوس این مسئله به یک بحث چالش برانگیز در علم کنترل تبدیل گشته است. ما در این مقاله ابتدا به تعریف پاندول معکوس و اهمیت آن می‌پردازیم و سپس یک نمونه ی عملی از آن (ربات تعادلی دوچرخ) را ساخته و معادلات ریاضی و دینامیکی آن را ارائه می‌کنیم. بعد از شبیه سازی ربات در نرم افزار MATLAB برای کنترل آن سه کنترل کننده PI ، PD و PID بررسی کرده و با هم مقایسه خواهیم نمود. و در آخر بهترین کنترل کننده را انتخاب کرده و نتایج را ارائه خواهیم کرد.

واژه‌های کلیدی : ربات تعادلی دوچرخ، پاندول معکوس، کنترل کننده PID

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ کنترل‌کننده PID ۳

۱-۳ چرا علاقه مند به بررسی و ساختن یک ربات تعادلی دوچرخ هستیم؟ ۵

فصل دوم : طراحی ، ساخت و معرفی اجزای ربات تعادلی دوچرخ ۷

۲-۱ ساخت ۸

۲-۲ اجزای به کار رفته در ربات ۹

۲-۲-۱ آردوینو UNO ۱۰

۲-۲-۲ ماژول MPU6050 ..... ۱۱

۲-۲-۳ درایور موتور L298N ۱٤

فصل سوم : مدل دینامیکی ربات و استخراج روابط ریاضی ۱٦

۳-۱ تعریف مختصات ۱۷

۳-۲ به دست آوردن معادلات دینامیکی ربات ۱۹

۳-۲-۱ خطی سازی معادله ۲۲

۳-۳ موقعیت قرارگیری مرکزجرم (COM) و اینرسی قسمت بدنه ربات ۲۳

فصل چهارم : شبیه سازی و نتیجه گیری ۲۵

٤-۱ شبیه سازی ۲٦

۴-۱-۱ کنترل کننده PI ۲۷
۴-۱-۲ کنترل کننده PD ۳۰
۴-۱-۳ کنترل کننده PID ۳۳
۴-۲ نتیجه گیری ۳۵
۴-۳ پیشنهادات ۳۶
ضمیمه ۳۷
مراجع ۴۴

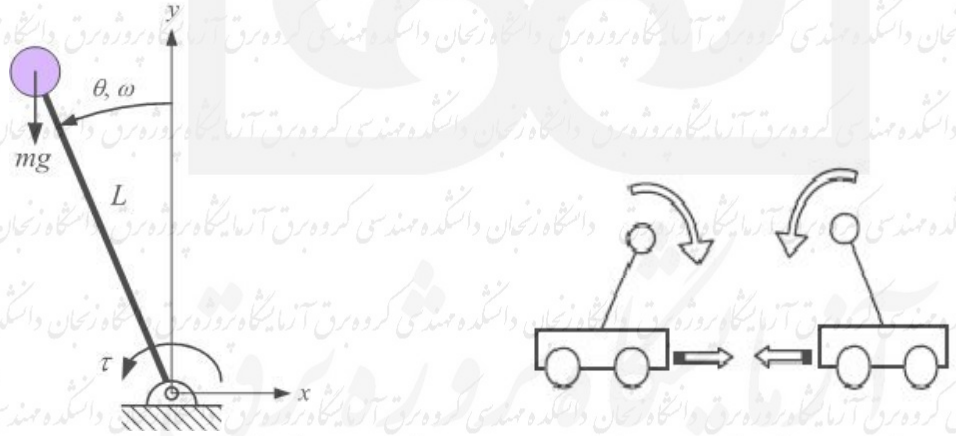
فصل اول:

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در طول سال های اخیر شاهد پیشرفت چشمگیری در زمینه ی علم رباتیک بوده ایم و روز به روز بر تنوع و کاربردهای ربات ها افزوده می‌شود. یکی از این ربات ها، ربات تعادلی دوچرخ است که در این مقاله سعی داریم آن را بررسی و یک نمونه‌ی عملی از آن را ارائه نماییم.

عملکرد ربات های تعادلی تا حدی شبیه پاندول معکوس است. پاندول معکوس بر عکس یک پاندول معمولی تمایل به ناپایداری دارد (مانند موقعی که می‌خواهید تعادل یک میله را بر روی انگشت خود حفظ کنید) . موقعی که میله بر روی انگشت شما قرار دارد و به یک جهت کج می شود شما انگشت خود را در همان جهت حرکت می‌دهید تا تعادل میله را حفظ کنید، ربات دو چرخ هم به همین صورت عمل می‌کند یعنی موقعی که ربات به یک طرف کج می شود، چرخ های ربات به همان جهت حرکت می‌کنند تا تعادل ربات حفظ شود. در همه حال سعی می‌کنیم تا مرکز ثقل ربات را دقیقا بالای نقطه محوری ربات نگه داریم.

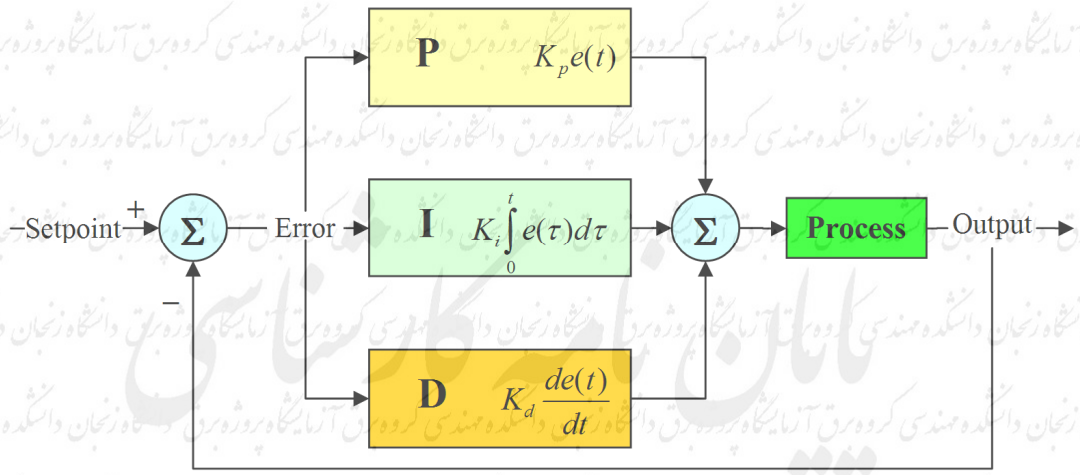


شکل ۱-۱ : پاندول معکوس و جهت اعمال نیرو برای حفظ تعادل

برای همین منظور ما باید بدانیم که این ربات چند درجه و با چه سرعتی از راستای عمودی منحرف شده است تا بتوانیم سیگنال کنترلی مناسب را به موتورها اعمال کنیم که این کار توسط سنسور شتاب سنج + ژیروسکوپ (که بعدا شرح خواهیم داد) انجام می‌پذیرد. در واقع این ربات برای حفظ تعادل خود باید در هر لحظه موقعیت خود و مقدار انحراف از راستای قائم را بسنجد و آن را به یک میکروپروسسور جهت پردازش و اعمال سیگنال های کنترلی ارسال کند. میکروپروسسور نیز با ترکیب این داده ها و مدل دینامیکی ربات و با استفاده از الگوریتم معروف PID ، فرمان کنترلی مناسب را تولید کرده و با اعمال آن به چرخ ها باعث پایداری ربات می‌شود.

۱-۲ کنترل‌کننده PID

در تئوری کنترل ثابت نگه داشتن برخی از متغیرها (در این مقاله ، موقعیت ربات) به یک کنترل‌کننده خاص به نام PID نیاز دارد. PID مخفف (تناسبی، انتگرالی، مشتقی) است. هر کدام از این پارامترها دارای یک ضریب هستند که Kp ، Ki و Kd نامیده می‌شوند. کنترل‌کننده PID مقدار «خطا» بین خروجی فرایند و مقدار ورودی مطلوب (setpoint) را محاسبه می‌کند. هدف کنترل‌کننده، به حداقل رساندن خطا با تنظیم ورودی‌های کنترل فرایند است.



شکل ۱-۲ : بلوک دیاگرام یک کنترل‌کننده PID

هر کدام از سه پارامتر PID سیگنال خطا را به عنوان ورودی گرفته و عملیاتی را روی آن انجام می‌دهند و در نهایت خروجی شان با هم جمع می‌شود. خروجی این مجموعه که همان خروجی کنترل‌کننده PID است برای اصلاح خطا (error) به سیستم فرستاده می‌شود.

تابع تبدیل یک کنترل‌کننده PID به شکل زیر است :

$$G_c = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

در این ربات اختلاف بین راستای قائم و زاویه ی فعلی ربات به عنوان خطا در نظر گرفته می‌شود و کنترل‌کننده سعی در به حداقل رساندن مقدار خطا دارد.

مهندسان برای به دست آوردن ضرایب PID مناسب از نرم افزارهایی کمک می‌گیرند ؛ ما نیز در اینجا از نرم افزار MATLAB استفاده خواهیم کرد. البته اغلب به دلیل پیچیده بودن مدل و یا حساسیت کم نسبت به خطا می‌توان از روش آزمون و خطا نیز برای یافتن ضرایب PID بهره جست.

۱-۳ چرا علاقه مند به بررسی و ساختن یک ربات تعادلی دوچرخ هستیم؟

رفتار مکانیکی یک ربات تعادلی بسیار شبیه به یک پاندول معکوس روی یک ارابه متحرک است که میل به ناپایداری دارد و به دلیل غیرخطی بودن و ناپایداری ذاتی به یکی از مسائل محبوب در علم کنترل تبدیل شده است. در واقع این سیستم بستر مناسبی برای تحقیق روی الگوریتم های کنترلی و مشاهده‌ی راندمان آن‌ها را برای محققان فراهم آورده است [1].

البته ربات های دوچرخ به دلیل فیزیکی که دارند دارای مزیت هایی هم هستند. مثلا :

اغلب ربات ها که دارای سه یا چهار چرخ هستند نسبت به ربات دوچرخ اجزای بیشتری را می‌طلبند و فضای بیشتری را اشغال میکنند. پس ربات های دوچرخ دارای درجه ی آزادی بیشتری هستند و در فضاهای کوچک بسیار کاربرد دارند. استفاده از این ربات ها به عنوان ویلچر میتواند ایده ی خوبی باشد. [2]

از طرف دیگر این ربات ها به دلیل سبکی و اجزای کمتر، مصرف انرژی پایین‌تری نیز دارند و میتوانند به گزینه‌ی خوبی در سیستم حمل و نقل تبدیل شوند. SEGWAY یک نمونه ی عملی و تجاری از این ربات است که تصویر آن را در زیر مشاهده میکنید. [3]

شکل ۱-۳ : یک نمونه ی تجاری و عملی از ربات تعادلی دوچرخ به نام segway

شکل ۱-٤ : یک نمونه ی تجاری از ربات تعادلی دوچرخ موجود در بازار

جدای از کاربرد های این ربات درک سازوکار و مدل دینامیکی آن می تواند ما را در ساختن سایر ربات ها نیز یاری کند . مثلا کنترل پایداری یک مولتی روتور (پهپاد) بسیار شبیه به کنترل ربات دوچرخ است. و نیز مدل دینامیکی موشک در حال پرتاب از مدل پاندول معکوس پیروی می‌کند.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

مراجع

[1] Khaled M K Goher and M O Tokhi, "MODELLING, SIMULATION AND BALANCE CONTROL OF A TWOWHEELED," Department of Automatic Control and Systems Engineering, The University of Sheffield, Sheffield, ISBN/ISSN .,

[2] M. O. Tokhi and N. H. Siddique, K. M. Goher, "Dynamic modeling and control of a two wheeled robotic vehicle with a virtual payload," ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. VI, pp. 7-8, March 2011 .

[3] Wei An and Yangmin Li, "Simulation and Control of a Two-Wheeled Self-Balancing Robot," International Conference in Robotics and Biomimetic (ROBIO), pp. 456-458, 2013.

[4] Ye Ding , Jashua Gafford , Mie Kunio , " Modeling , Simulation and Fabrication of a Balancing robot " . Advanced System Dynamics and Control . IEEE . 2012

[5] B. Friedland, “Control system design: an introduction to state-space methods”, Dover Publications, Inc., 2005, pp.30-32

ایمیل جهت ارتباط با نویسنده : musavimahmoud@gmail.com