

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق - گروه مهندسی کنترل

درس کنترل مدرن

پاسخ تمرین سری اول

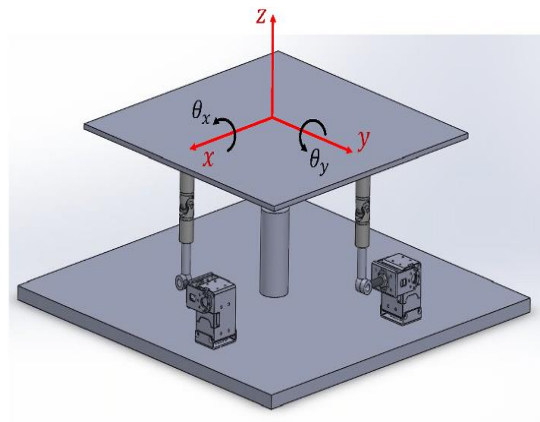
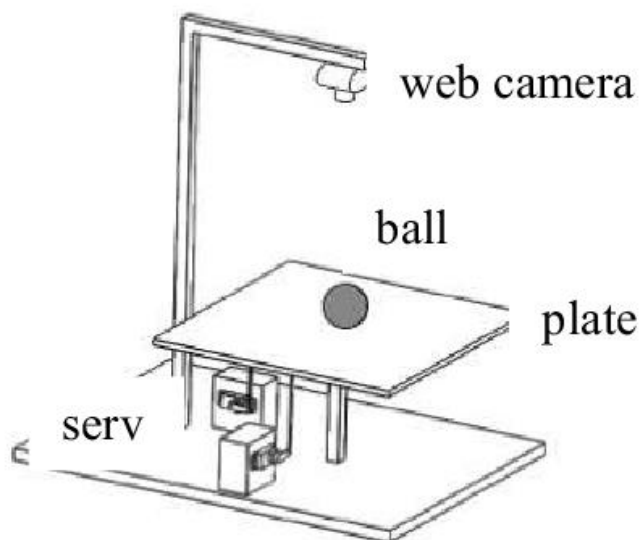
نام و نام خانوادگی	سید حبیب حسینی	مهدی فیاض
شماره دانشجویی	۴۰۰۰۴۴۶۳	۴۰۰۰۷۹۱۳
تاریخ	اسفند ماه ۱۴۰۲	



۱- معرفی سیستم:

سیستم توپ و صفحه یک سیستم دینامیکی است که از آن می‌توان برای آموزش مفاهیم کنترلی بهره گرفت. این سیستم کنترلی شامل یک صفحه متحرک هست که توپی به صورت آزاد روی آن حرکت می‌کند و هدف، حفظ تعادل توپ در هر مختصات دلخواهی از صفحه با استفاده از کنترل شیب صفحه است.

مختصات توپ توسط سنسوری دریافت می‌شود، اختلاف آن با مقدار مورد نظر محاسبه می‌شود و سپس توسط یک کنترل کننده مقدار ورودی مورد نظر به عملگرهای ما که در این سیستم دو سروو موتور هستند داده می‌شود. برای کنترل کننده می‌توان از المان‌های مختلفی مثل رزبری پای، میکروکنترلرهای نظیر آردوینو و ... استفاده کرد. از زبان‌هایی همچون پایتون نیز می‌توان هم برای پردازش تصویر و هم متدهای کنترلی استفاده کرد و مقدار ورودی محاسبه شده را با یک واسطه (مثل آردوینو) به موتور داد. با استفاده از این عناصر و متدهای مختلف کنترلی، ورودی مورد نیاز که در اینجا ولتاژ موتور‌ها هست، محاسبه شده و به موتور‌ها داده می‌شود.





نمونه‌هایی از این سیستم را می‌توانید در لینک های زیر مشاهده کنید.

[Ball and Plate System with Stewart platform and Android tablet control](#)

[Ball Balancing PID System](#)

[Balancer - plate balancing a ball with PID controller, resistive panel and servos, arduino](#)

[Ball on plate system](#)

۲- کاربردها:

این سیستم یک سیستم پایه است و شاید به طور مستقیم در دنیای واقع و صنعت زیاد استفاده نشود اما با درک این سیستم و مفاهیم کنترلی موجود در آن نظیر فیدبک، کنترل کننده PID، فضای حالت و ... می‌توان به فهم عمیق تری از سیستم های کنترلی پیچیده‌ای که وجود دارند دست یافت؛ سیستم هایی همچون حفظ تعادل و ثبات ربات ها و پهپاد ها، سیستم های تعلیق، حفظ تعادل در سیستم های صنعتی همچون نوار نقاله، جرثقیل و به طور کلی در تمام سیستم هایی که در مقابل یک لغزش و اغتشاش باید تعادل جسم را حفظ کرد. (در موارد خاص مثل رباتی که شیئی را روی سینی نگه می‌دارد این سیستم استفاده مستقیم دارد)

۳- اجزای کلیدی:

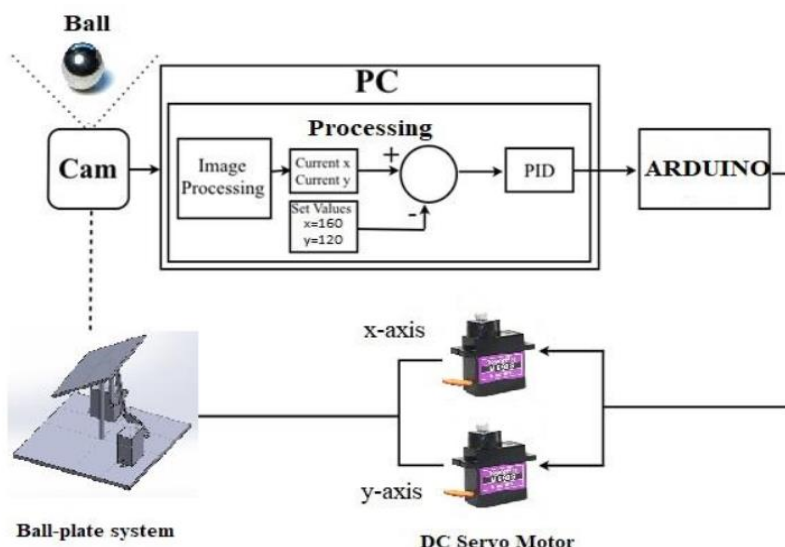
- **سنسور:** برای تشخیص موقعیت توپ که در واقع خروجی ماست، عموماً از یک دوربین و انجام عملیات های پردازش تصویر بر روی تصاویر آن استفاده می‌شود. از مزایای استفاده از این نوع سنسور ها می‌توان به دقت نسبتاً بالا در اندازه گیری، انعطاف پذیری نسبی و اطلاعات زیادی که می‌تواند در مورد توپ و حرکت آن به ما بدهد، اشاره کرد. در مقابل این مزایا، دوربین ها هزینه نسبتاً بالایی دارند؛ همچنین پردازش تصویر آن‌ها ممکن است پیچیده باشد و این پردازش باعث ایجاد تاخیر در سیستم کنترلی ما بشود و در شرایط نوری ضعیف و دارای نویز نیز ممکن است عملکرد مطلوب را به ما ندهد.

اما از سنسور های دیگری نیز می‌توان برای تشخیص موقعیت توپ استفاده کرد. سنسور های تشخیص فاصله همچون سنسورهای اولتراسونیک، اپتیک، القائی (ترجیحاً برای توپ فلزی) و



یا حتی صفحه های لمسی مقاومتی استفاده کرد. اگر نیاز باشد میتوان برای دریافت زاویه و سرعت صفحه نیز سنسورهای مدنظر را تعبیه کرد.

- **عملگر:** عملگر های اصلی این سیستم که باعث تغییر زاویه صفحه می شوند، سروو موتور هایی هستند که زیر آن قرار می گیرند. حداقل به دو موتور برای چرخش در دو جهت لازم است. از مزیت های استفاده از سروو موتور ها برای این سیستم می توان با دقت بالا و کنترل دقیق، گشتاور بالا، اندازه و وزن کم و از همه مهم تر پاسخ سریعی که دارند اشاره کرد. اما می توان با استفاده از روش های دیگری نیز صفحه را کنترل کرد. به عنوان مثال یک مکانیزم جالب برای این کار استفاده از قانون القای فارادی و لنز است که لینک آن قرار داده شده.^۱
- **کنترل کننده:** برای کنترل می توان از متدهای کلاسیک (PID) و یا مدرن (کنترل کننده های فازی و عصبی و یادگیرنده) استفاده کرد. با توجه به نوع کنترل می توان از یک میکروکنترلر ساده تا یک سیستم عامل استفاده کرد.
- **توپ و صفحه:** ابعاد و جنس این اجزاء بر روند کنترل تاثیر گذار است.



۱) Ball and Plate Control System (۲۰۲۳) : <https://www.youtube.com/watch?v=GxZr-4ZvCvs>

سنسور ما (دوربین) به طور مستمر تصویر توپ و صفحه را دریافت می‌کند و به سیستم عامل ارسال می‌کند و پردازشگر با استفاده از عملیات های پردازش تصویر و با استفاده از پکیج هایی مانند **openCV** و ... از روی تصویر مختصات توپ را که خروجی ما است استخراج می‌کند. سپس با استفاده از زبان های برنامه نویسی مانند پایتون، سی و ... اختلاف خروجی مطلوب و واقعی محاسبه شده و به کنترل کننده PID داده می‌شود تا از روی آن مقدار ورودی که نیاز است محاسبه شود. در این قسمت می‌توان از روش های کنترلی هوشمند و یادگیرنده نیز استفاده کرد (این روش البته نیاز به **train** شدن دارد). در نهایت پس از محاسبه مقدار ورودی (ولتاژ سروو موتور) این عدد به یک واسطی نظیر آردوینو داده می‌شود و آردوینو نیز این مقدار موثر را صورت **PWM** یا روش های دیگر به موتورهای ما می‌دهد. ولتاژ موتور نیز با توجه به روابط، تاثیر خود را بر روی زاویه صفحه و در نهایت موقعیت توپ می‌گذارد. و این حلقه ی بسته پیوسته ادامه دارد.