

## مراحل پیاده سازی پروژه درس مکاترونیک

مقطع: کارشناسی

فهرست مطالب

- پیاده سازی بخش مکانیک
- پیاده سازی بخش الکترونیک
- برنامه نویسی و ایجاد الگوهای کنترلی
- ارزیابی عملکرد ربات
- برنامه زمان بندی اجرا

### مقدمه

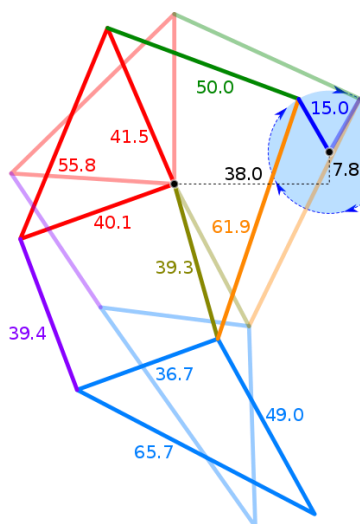
هدف از این بخش ارائه مستندات لازم برای انجام پروژه درس مکاترونیک می باشد. به علت ساختارهای بسیار وسیع و باز سیستم های مکاترونیکی و همچنین ابهامات زیاد در تعریف پروژه، بر آن شدیم که مراحل انجام آن را به صورت تقریباً کامل توضیح داده و ساختارهای مورد نیاز را معرفی نماییم.

### پیاده سازی بخش مکانیک

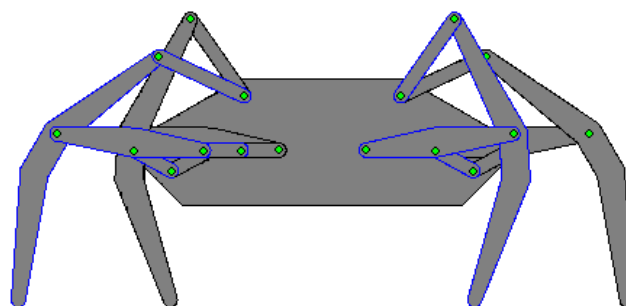
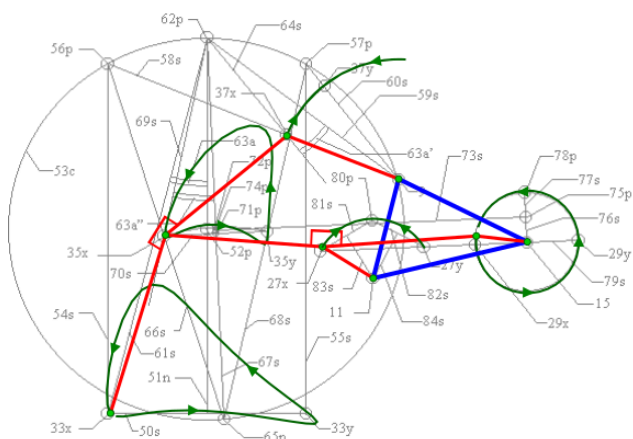
در بخش مکانیک مکانیزم های متعددی برای پیاده سازی وجود دارد که با توجه به سلیقه و تجهیزات در دسترس می توان آن را پیاده سازی کرد. در این بخش ۳ مکانیزم بسته معروف برای ربات های راهرونده را به صورت اجمالی بررسی می نماییم. در این بررسی معادلات دینامیکی حاکم بر این مکانیزم ها را معرفی نخواهیم کرد و در صورت علاقه می توانید با کمی جستجو آن را پیدا کنید.

✓ **مکانیزم Strandbeest** ، این مکانیزم در زبان هلندی به معنای جانور ساحلی می باشد و در سال ۱۹۹۰ توسط آقای تئو جانسون اختراع گردید. از ویژگی های بسیار مهم این مدل مکانیزم ایجاد حرکت بسیار نرم در مسیر مجری نهایی می باشد که با کنار هم چیدن تعداد مناسبی از این مدل میتوان به یک سیستم راهرونده بسیار زیبا دست یافت. اما در طرف مقابل مراحل پیاده سازی آن پیچیده می باشد و عملاً آن را محدود به یک سیستم نمایشی می کند.

برای اطلاعات بیشتر می توانید به سایت رسمی این مکانیزم مراجعه کنید. [strandbeest](http://strandbeest.nl)

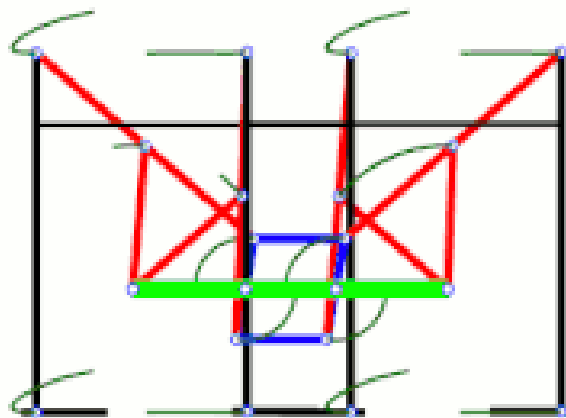
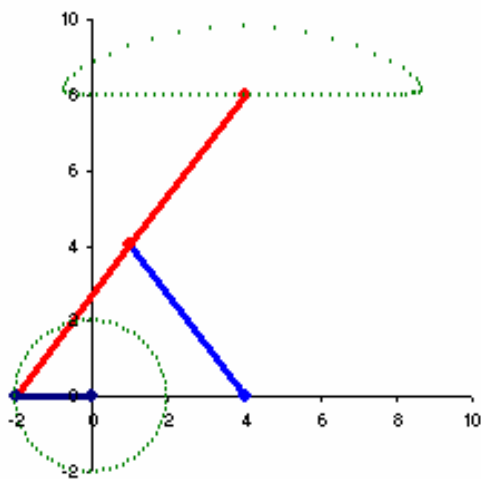


✓ **مکانیزم klann**، در سال ۲۰۰۱ آقای جوزف کلن در ثبت اختراعی به شماره US6260862B1 مکانیزمی الهام گرفته شده از حرکت جانوران در طبیعت را معرفی نمود البته ایده اولیه این مکانیزم در سال ۱۹۹۴ شکل گرفته بوده است. در طراحی اولیه این مکانیزم این طور بیان شده است که هدف پیاده سازی یک مجموعه اتصالی ۴ تایی از لینک ها که به صورت جفت به هم متصل شده اند را بررسی می کند و با توجه به آنالیز مسیر پیموده شده توسط مجری این طور ادعا می شود که این مدل می تواند بسیاری از مزایای سیستم های راهرونده پیشرفته را بدون برخی از محدودیت های آنها داشته باشد. اما در هر صورت ساخت چنین مکانیزمی نیز برای یک ربات راهرونده کامل دارای پیچیدگی های نسبتا زیادی می باشد.



### ✓ مکانیزم Chebyshev's Lambda یا Chebyshevs Plantigrade

این مکانیزم در سال ۱۸۷۸ در جریان نمایشگاه به عنوان یک ماشین گیاه خوار (**Plantigrade**) معرفی شد. از ویژگی های این مکانیزم تبدیل حرکت دورانی به یک حرکت خطی در مجری نهایی با سرعت ثابت در بخش مورد نیاز از سیکل کاری می باشد.



## پیاده سازی مکانیزم ربات

با توجه به معرفی ۳ مکانیزم معروف برای ربات های راهرونده و همچنین با اندکی جستجو متوجه خواهید شد که انواع مکانیزم های مختلفی برای این دست ربات ها مورد بررسی قرار گرفته شده است اما نکته مهم در پیچیدگی و عملکرد مناسب بسیاری از این مکانیزم ها می باشد، به خصوص زمانی که تعداد اتصالات بالا باشد باید با مشکلات مهمی از جمله پدیده اصطکاک در محل اتصال لینک ها و لغی دست و پنجه نرم کرد. به همین دلیل به شدت توصیه می شود که از مکانیزمی استفاده شود که تعداد لینک های آن کم بوده و عملکرد مناسبی را ارائه دهد.

✗ دقت شود ربات باید چهارپا باشد و مکانیزم مورد استفاده در آن باید به نحوی باشد که حرکت مناسبی را برای مجموعه ارائه نماید. استفاده از هر مدل مکانیزم برای این ربات مجاز است فقط باید شرط بودن مکانیزم رعایت شود.

## مراحل مورد انتظار این بخش:

- ✓ انتخاب مکانیزم مورد علاقه
- ✓ طراحی مدل سه بعدی در نرم افزار Solidworks
- ✓ بررسی ابعاد و عملکرد راه رفتن ربات در بخش motion نرم افزار Solidworks
- ✓ جانمایی موتور، باتری و قطعات الکترونیکی بر روی ربات در طراحی سه بعدی (استفاده از باتری ضروری نمی باشد، می توانید توان مورد نیاز را با استفاده از منابع ولتاژ خارجی تامین نمایید).
- ✓ نوشتن معادلات دینامیکی حاکم بر روی مکانیزم ربات (این قسمت کمی مشکل می باشد و اصلا ضروری نیست!!!! ولی در صورت انجام نمره اضافی به آن تعلق می گیرد).
- ✓ آنالیز و برآورد نحوه ساخت مکانیک ربات
- ✓ ساخت ربات
- در این قسمت باید به این نکته توجه کنید که هم می توانید از قطعات آماده برای ساخت استفاده کنید و هم به طور مستقل ساخت را با انواع مواد مختلف انجام دهید و مسلما ایده ها و ساختارهای جدید در ارزیابی ها در نظر گرفته خواهند شد.
- ✓ گزارش کتبی یا شفاهی کوتاه در این قسمت باید مطابق زمان بندی ارائه شود و یک فایل تصویری (عکس) از مکانیزم طراحی شده باید ارائه شود.
- ✓ زیبایی در طراحی و ساخت بسیار مورد اهمیت می باشد، سعی کنید در مورد بحث زیبایی شناسی طراحی خود نیز ایده هایی را به کار ببرید تا در ارزیابی ها مورد توجه واقع شود.

## پیاده سازی بخش الکترونیک

مطابق دستورالعمل مطرح شده در پروژه اجزای مورد نیاز برای بخش الکترونیک به این شرح می باشند.

### ✓ بورد آردوینو

انتخاب نوع بورد به دلخواه شما است و هر مدل برای این پروژه کافی می باشد که در زیر می توانید یکی از این انواع را انتخاب نمایید.

- Arduino Uno
- Arduino Mega
- Arduino Leonardo
- Arduino Nano
- Arduino ProMini
- Arduino Due

توجه داشته باشید در این پروژه به علت سادگی و کم بودن اجزای مورد نیاز انتخاب نوع بورد الکترونیکی چالش خاصی به حساب نمی آید و ساده ترین بوردها و ارزان ترین آنها نیز به طور کامل از عهده کار برخوردارند آمد. البته به این نکته دقت کنید که ۵ مورد اول از خانواده بوردهای معرفی شده دارای میکروکنترلر AVR هستند که همه آنها دارای توان پردازشی مشابهی می باشند و تنها تفاوت آنها در تعداد پایه ها و اجزای جانبی است به همین دلیل برای یک پروژه که نیازمند توان پردازشی متوسط یا پایین می باشد تفاوت چندانی بین آنها نمی توان قائل شد. درمورد بورد Due این طور می توان بیان کرد که به علت استفاده از پردازنده های خانواده ARM، توان پردازشی در آنها به مراتب بالاتر است.

### ✓ موتور

در این پروژه هدف راه رفتن ربات است به همین دلیل نیازمند ۲ عدد موتور DC هستیم. استفاده از انواع دیگر موتورها به دلیل هزینه اضافی اصلا توصیه نمی شود. برای انتخاب موتور نیز متأسفانه آنچنان نمی توان با دست باز عمل کرد. به همین دلیل یک مدل موتور گرباکس به شرح زیر پیشنهاد می گردد.

## TECHNICAL DETAILS

- Rated Voltage: 3~6V
- Continuous No-Load Current: 150mA +/- 10%
- Min. Operating Speed (3V): 90+/- 10% RPM
- Min. Operating Speed (6V): 200+/- 10% RPM
- Torque: 0.15Nm ~0.60Nm
- Stall Torque (6V): 0.8kg.cm
- Gear Ratio: 1:48
- Body Dimensions: 70 x 22 x 18mm
- Wires Length: 200mm & 28 AWG
- Weight: 30.6g



این مدل موتور در اصل برای یک شرکت چینی به نام TT-Motor می باشد و می توانید اطلاعات بیشتر در مورد این مدل را از این سایت

دریافت کنید: <http://www.ttmotor.com/productshow.php?sid=212&id=119>

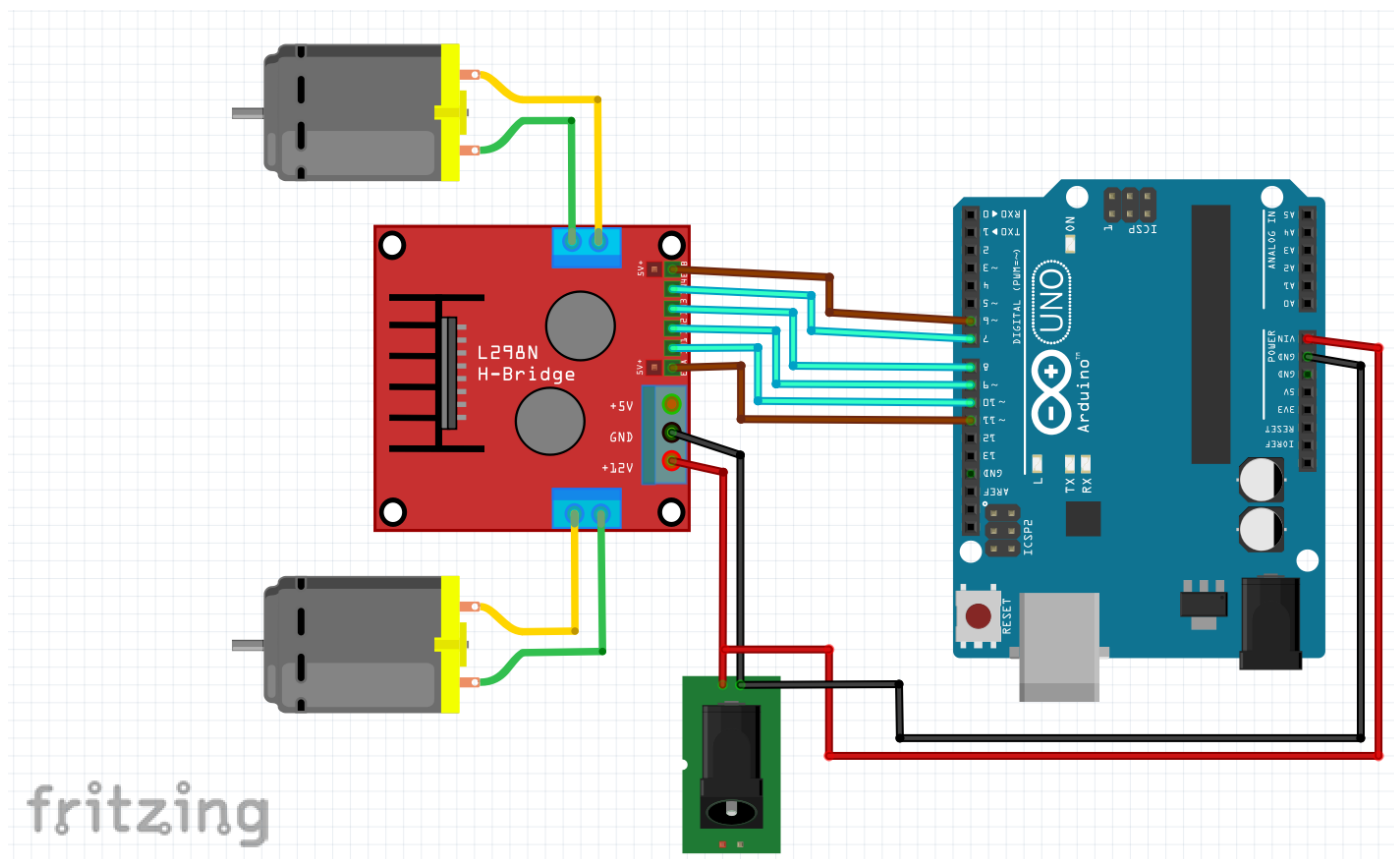
اما متأسفانه برای این مدل مشخصات دینامیکی دقیقی موجود نیست و آنچه به دست آمده است برای مدل 200RPM می باشد درحالی که مدل موجود در بازار 100RPM است. به همین دلیل فقط آنچه می توان به طور دقیق از این اعداد و ارقام به دست آورد ابعاد موتور است و درمورد مشخصات دینامیکی فقط می توان یک تخمین کلی داشت.

✓ ماژول درایور موتور

برای راه اندازی موتور DC نمی توان آن را به طور مستقیم به برد آردوینو متصل نمود و برای راه اندازی آن باید از ماژول های درایور موتور استفاده کرد. برای موتورهای DC ماژول های مختلفی هست که در اینجا مدل L298 مناسب می باشد.

- آموزش کامل راه اندازی ماژول L298 در فایل های ضمیمه ارائه شده است.
- راه اندازی این ماژول نیازمند کتابخانه اضافی برای آردوینو نمی باشد.

برای این قسمت شماتیک مدار الکترونیکی پیشنهادی مطابق شکل زیر ارائه می گردد.



همان طور که پیش تر نیز پیشنهاد داده شد استفاده از ماژول های تشخیص فاصله و تشخیص جهت برای کنترل دقیق تر و بهتر ربات توصیه می شود. برای این منظور در این بخش با ماژول سونار (برای تشخیص فاصله و ماژول MPU6050 برای تشخیص جهت به عنوان یکی از کاربردهای آن آشنا می شوید.)



✓ **ماژول سونار:** برای بخش تشخیص مانع از انواع سنسورهای اندازه‌گیری فاصله می‌توان بهره جست اما مناسب‌ترین ماژول از نظر قیمت و راه‌اندازی، سونارها هستند که در انواع مختلفی به بازار عرضه می‌شوند. دو مدل پرکاربرد SRF04 و SRF05 می‌باشند که هر دو آنها برای کار ما مناسب هستند و تفاوت چندانی در راه‌اندازی ندارند.

- آموزش کامل راه‌اندازی ماژول سونار در فایل‌های ضمیمه ارائه شده است.

- راه‌اندازی این ماژول نیازمند کتابخانه اضافی برای آردوینو نمی‌باشد.

✓ **ماژول جایرو:** برای اندازه‌گیری جهت‌گیری ربات و تشخیص میزان انحراف ربات از خط مستقیم نیازمند ماژول اندازه‌گیری زاویه هستیم. (مطابق شکل زیر)

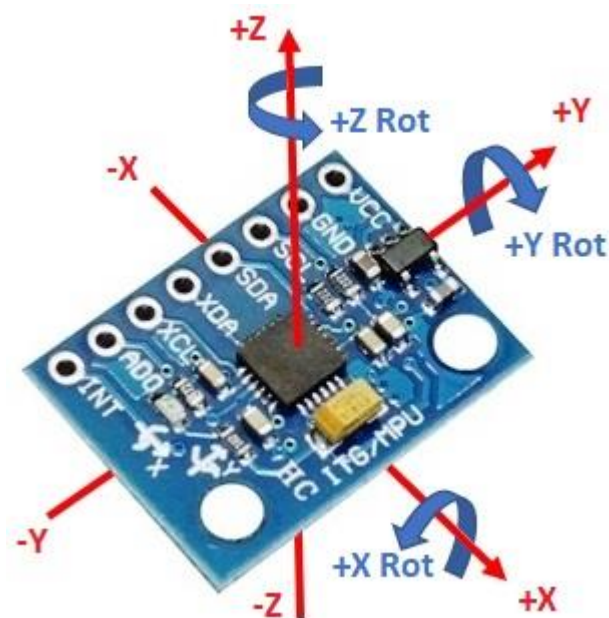
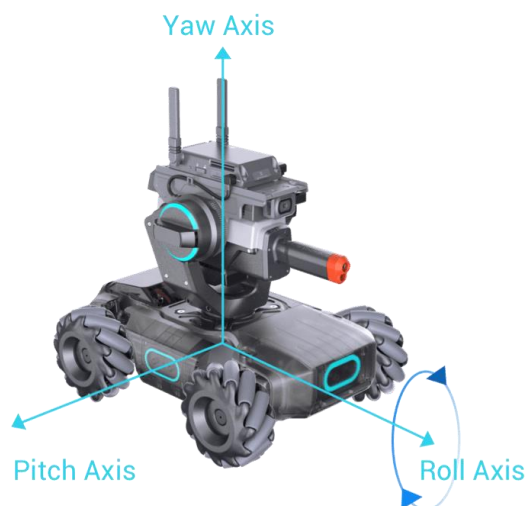
براین اساس با داشتن مقدار زاویه حول محور عمودی  $Z$  می‌توان بازخوردی از میزان انحراف جهت‌گیری ربات را به دست آورد به این ترتیب استفاده از ماژول جایرو ضروری می‌باشد. یکی از ابتدایی‌ترین و موجودترین ماژول در بازار  $mpu6050$  می‌باشد. برای نصب این ماژول کافی است، سیستم مختصاتی که روی ربات در نظر می‌گیرید با دستگاه مختصات مشخص شده روی ماژول مطابق باشد.

- پروتکل ارتباطی این ماژول سریال از نوع  $I2C$  می‌باشد.

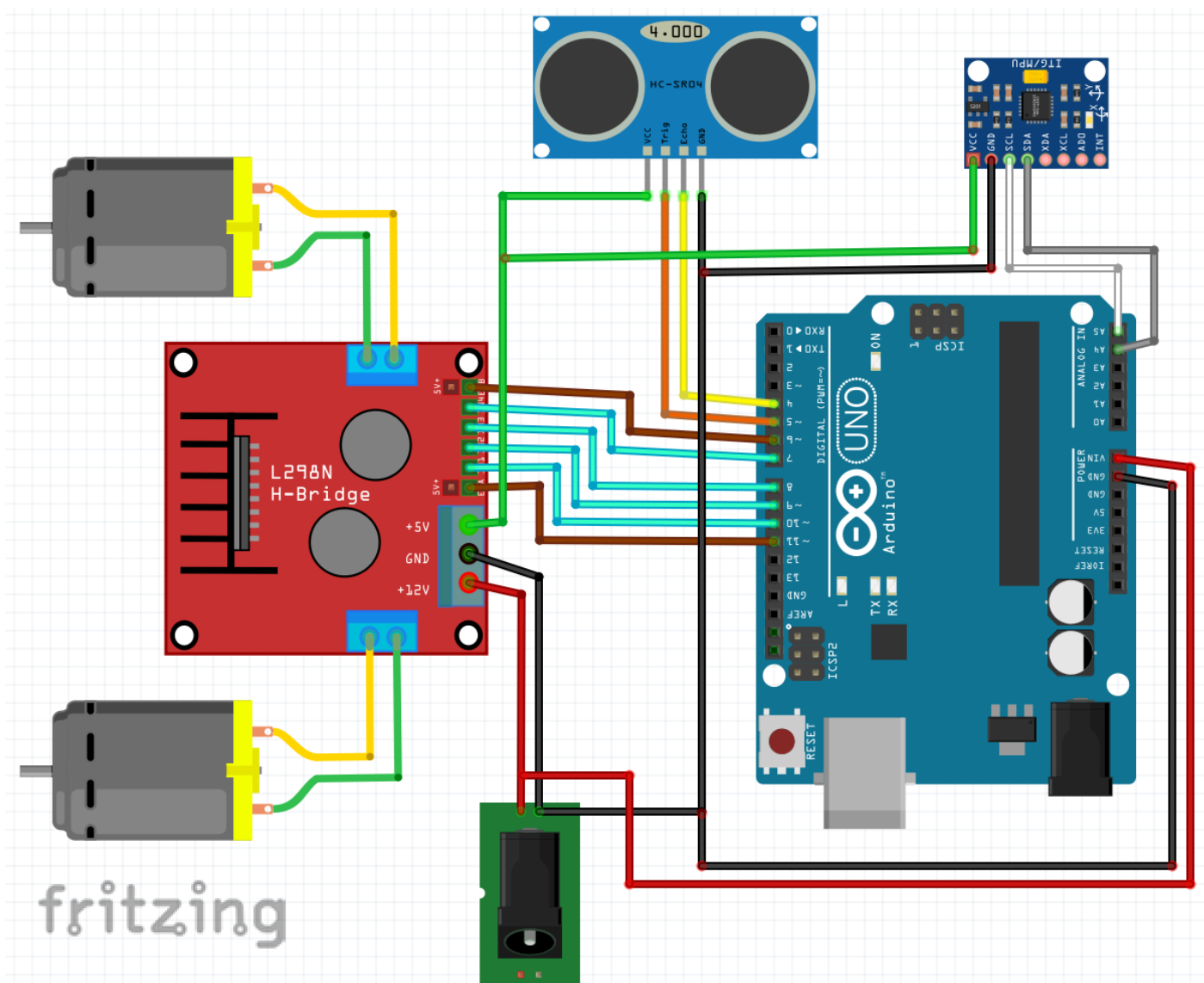
- برای اتصال این ماژول کافی است فقط ۴ سیم متصل باشد.

Vcc5V-GND-SCL-SDA

- راه‌اندازی این ماژول نیازمند کتابخانه اضافی برای آردوینو می‌باشد و در فایل ضمیمه قرار داده شده است. کافی است مثال خواندن زوایای  $roll$ ،  $pitch$  و  $yaw$  را فراخوانی کرده و به راحتی زاویه مورد نیاز را استخراج نمایید.



شماتیک مدار الکترونیکی مورد نیاز برای این بخش از پروژه چنین پیشنهاد می گردد.



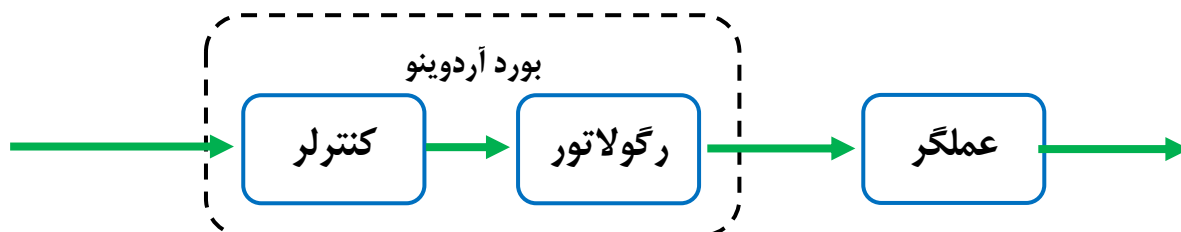
نکات مورد نیاز پیرامون پیاده سازی مدارهای پیشنهادی:

- ✓ برای اتصال ماژول L298 باید دو پایه ENA و ENB به پایه‌هایی از برد متصل شود که می‌توانند سیگنال PWM تولید کنند، این پایه‌ها با نماد ~ مشخص شده‌اند. باقی پایه‌ها فقط کافی است که به صورت خروجی‌های ثابت تنظیم شوند.
- ✓ ماژول L298 در بخش تغذیه خود خروجی ۵ ولت ارائه می‌دهد که می‌توان از آن برای تغذیه سایر ماژول‌های مورد استفاده در سیستم بهره جست.
- ✓ تغذیه اصلی این ماژول باید حداقل ۸ ولت باشد.
- ✓ موتور مورد استفاده حدود ۶ ولت است اما برای مدت زمان کاری کوتاه ایرادی ندارد که تا ۱۲ ولت نیز به آن متصل نمود. همچنین با استفاده از تنظیم سرعت ماژول ولتاژ روی موتور را می‌توان کم کرد.
- ✓ باید زمین ماژول درایور موتور و برد آردوینو را به هم متصل نمود.
- ✓ برای ماژول سونار فرقی ندارد که پایه‌های echo و trig به کدام یک از پایه‌های برد آردوینو وصل می‌شود. کافی است شماره پایه‌های متصل شده را در کد تنظیم کرد.
- ✓ در برد آردوینو از پایه‌های RX0 و TX0 به هیچ عنوان استفاده نشود.
- ✓ در برد آردوینو می‌توان تغذیه درایور موتور را به پایه Vin متصل کرد تا برد نیز از باتری یا منبع خارجی استفاده کند.
- ✓ پایه‌های A4 و A5 هم می‌توانند به صورت ورودی آنالوگ باشند و با پروتکل I2C را پشتیبانی کنند.
- ✓ برای فرمان حرکت به ربات ارسال دیتا با سیم و استفاده از پروتکل UART کافی به نظر می‌رسد.
- آموزش کامل راه اندازی بخش UART در فایل‌های ضمیمه ارائه شده است.
- ✓ لزومی به استفاده از بلوتوث در این پروژه دیده نمی‌شود ولی در صورت استفاده در ارزیابی‌ها منظور می‌گردد.

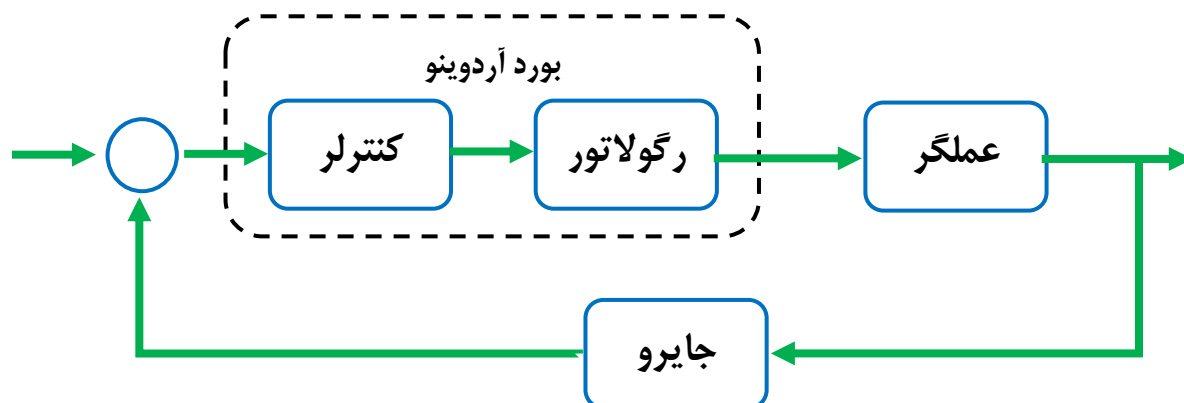
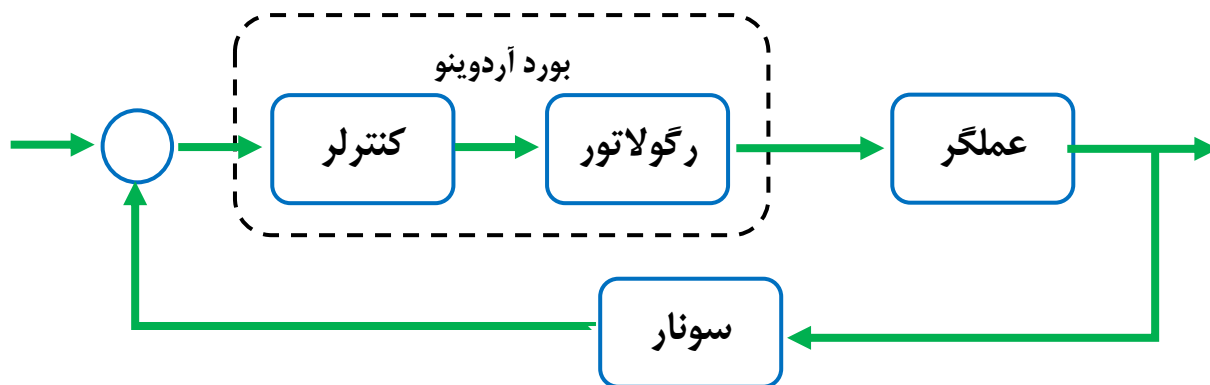


## برنامه نویسی و ایجاد الگوهای کنترلی

به صورت کلی همان طور که میدانیم، الگوهای کنترلی زمانی مورد نیاز هستند و شکل می گیرند که در سیستم خود در پایه ترین سطح هم عملکرد داشته باشیم و هم حسگر (البته بیشتر صحبت ما در این بخش پیرامون سیستم های کنترلی حلقه بسته می باشد). اما در بخش اول پروژه نیازی به استفاده از حسگر احساس نمی شود به همین دلیل به راحتی می توان الگو کنترلی حلقه باز را برای آن پیاده نمود. در پایه ترین سطح مطابق شکل زیر این الگو چنین است.



برای بخش دوم کنترل با استفاده از داده های سنسورها می توان کنترل حلقه بسته را پیاده نمود. برای این منظور دو عملگر (موتورها) و دو حسگر (سنسور سونار برای فاصله سنجی و سنسور ژایرو برای سنجش زاویه) دارد و به همین دلیل سیستم کنترلی مجموعه شامل دو دسته بلوک مجزا می باشد. که در برخی موارد می تواند مستقل از هم عمل کنند و در مواردی همکاری توأمان آنها مورد نیاز است.



✓ برای پیاده سازی کنترلر نیازی نیست که در همان ابتدا روش PID را اجرا کنید. کافی است در گام اول پس از محاسبه خطا در بلوک دیاگرام با تنظیم یک ضریب P عملکرد ربات را مورد ارزیابی قرار دهید و اگر نتیجه مناسبی حاصل نشد سراغ باقی اجزا کنترلر بروید.

## ارزیابی عملکرد ربات

یکی از نکات مهمی که در مورد این مدل ربات‌های راه‌رونده باید مورد توجه واقع شود مدل حرکت آنها است. به دلیل ساختار مکانیزم آنها این ربات‌ها به صورت کامل توانایی حرکت صاف و مستقیم را ندارند و در هنگام حرکت رو به جلو مسیری شبه سینوسی با دامنه بسیار کم و مقدار میانه صفر را طی می‌کنند به همین دلیل در طراحی کنترلر مربوط به خواندن زاویه انحراف از محور عمود باید این مدل حرکت مدنظر قرار بگیرد و کنترلر نباید به تغییر زوایای خیلی کم حساس باشد.

همچنین این مدل ربات‌ها زمانی حرکت روبه‌جلو درستی را اجرا می‌کنند که عملگر سمت راست و چپ با هم اختلاف فاز ۹۰ درجه داشته باشند اما به دلیل اینکه می‌خواهیم ربات قابلیت گردش به چپ و راست را داشته باشد نمی‌توانیم این اختلاف فاز را ایجاد کنیم و تنها راه تنظیم حرکات موتورها استفاده از باخورد سنسور جایرو می‌باشد.

## برنامه زمان‌بندی اجرا

مدت زمان اجرای پروژه با توجه به قوانین و مقررات آموزشی دانشکده حداکثر تا آخر دی‌ماه خواهد بود. به همین جهت پس از مشخص شدن گروه‌ها هر هفته یا دوهفته یک‌بار یک گزارش شفاهی از هر گروه دریافت خواهد شد.

✓ دوستان خواهشمندم دقت فرمایید، پروژه این درس بسیار مهم است و سهم زیادی را در نمره نهایی شما خواهد داشت. لذا ساخت و اجرا مراحل در ارزیابی پروژه به شدت اهمیت دارد.