

در بخش اول این مینی پروژه، می خواهیم شما را با حسگرهای مختلفی که اطلاعات زاویه ای جسم را (شامل مقدار زاویه، سرعت زاویه ای و شتاب زاویه ای) اندازه می گیرند آشنا کرده و از یک نمونه آن ها استفاده کنیم. همچنین سعی کرده ایم علاوه بر تمرین و مرور برخی از قسمت های درس، نحوه راه اندازی و داده گیری از حسگرها را آموزش داده و از بوردهای آردوینو و برنامه نویسی به زبان پایتون استفاده کنیم. در بخش دوم، دوران دست ها را با استفاده از وبکم^۱ کامپیوتر به دست آورده و در محیط شبیه سازی نمایش می دهیم.

بخش اول

معرفی حسگرهای حرکت سنج^۲:

حسگرهای حرکت سنج کاربردهای فراوانی دارند و ما در زندگی روزمره خود نیز از آن ها استفاده می کنیم. از گوشی های هوشمند و تبلت ها گرفته تا زیردریایی ها و هواپیماها از این نوع حسگرها استفاده می کنند. از این حسگرها با نام عمومی ژيروسکوپ یاد می شود، اما در واقع ژيروسکوپ فقط قسمتی از آن ها است که وظیفه اندازه گیری سرعت زاویه ای را در راستاهای مختلف بر عهده دارد. در ادامه به چند نمونه از این حسگرها اشاره کرده و امکانات موجود در آن ها را نام می بریم:

حسگر MPU6050 (GY-521):



این حسگر حاوی یک ژيروسکوپ ۳ محوره و یک شتاب سنج ۳ محوره است و به همین خاطر، یک حسگر ۶ محوره محسوب می شود. MPU6050 بسیار ارزان، کم مصرف و نسبتاً دقیق بوده و در تلفن های هوشمند، تبلت ها و گجت های پوشیدنی به شکل گسترده ای استفاده می شود.

¹ Webcam

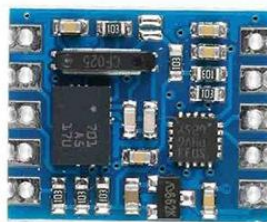
² Motion Tracking

حسگر MPU9250:



حسگر MPU9250 نسخه پیشرفته‌تر حسگر MPU6050 است. این حسگر علاوه بر ۶ محوری که ژيروسکوپ و شتاب‌سنج به آن می‌دهند، حاوی یک مغناطیس‌سنج^۳ ۳ محوره است که تعداد درجات آزادی آن را به ۹ درجه ارتقا می‌دهد.

حسگر BNO055:



حسگر BNO055 امکاناتی مشابه حسگر MPU9250 دارد، اما کوچک‌تر بودن آن و دارا بودن پردازنده حرکتی دیجیتال^۴ قدرتمندتر، نسبت به MPU9250، به آن برتری می‌بخشد. در سال‌های اخیر، استفاده از این حسگر در صنعت بازی‌سازی، مخصوصاً در زمینه‌های واقعیت مجازی و افزوده^۵ و کاربردهای دیگری مانند موقعیت‌یابی در محیط‌های داخلی و خارجی، رباتیک و گجت‌های پوشیدنی افزایش چشم‌گیری داشته است.

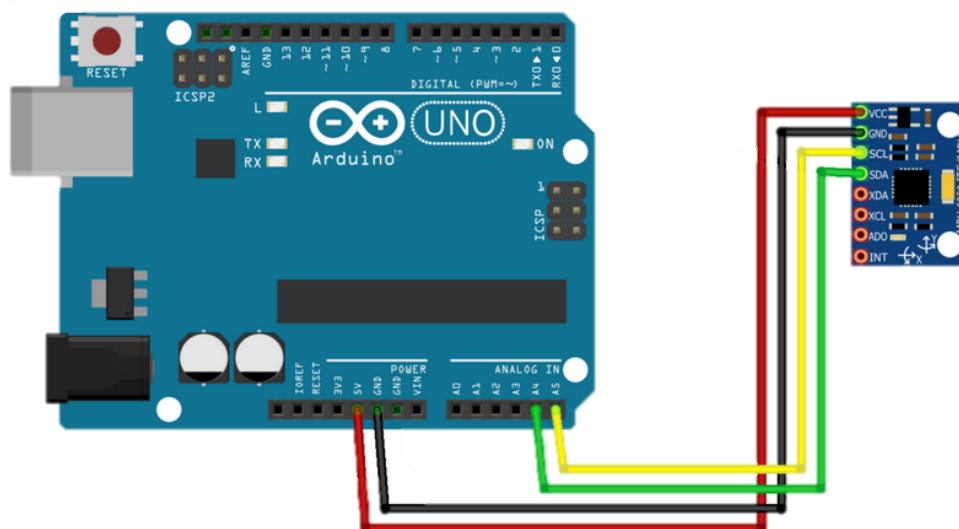
³ Magnetometer

⁴ Digital Motion Processor

⁵ Virtual and Augmented Reality

خواندن داده از حسگر:

در این مینی پروژه تعدادی ویدئوی آموزشی برای کار با این حسگرها در اختیار شما قرار خواهد گرفت که در آنها از حسگر BNO055 استفاده شده است. این حسگرها دقت و امکانات مطلوبی در اختیار ما قرار می دهند و از این رو قیمت نسبتاً بالایی دارند. با این حال می توان با تهیه حسگر MPU6050 و پیاده سازی روش هایی مشابه روش های استفاده شده در این ویدئوها، با صرف هزینه ای کم تر (در حدود یک دهم) به نتایجی با دقت و کیفیت مناسب رسید. بنابراین، حسگری که برای این مینی پروژه در نظر گرفته شده است، MPU6050 است. هم چنین برای کار با این حسگر لازم است از برد آردوینو اونو^۶ استفاده کنید. برای شروع، حسگر MPU6050 را مانند شکل ۱ به برد آردوینو متصل کنید (اتصال I2C) و فایل آردوینو با نام mpu6050.ino را از [این جا](#) دانلود کرده و روی برد آردوینو آپلود کنید. دقت کنید که برای کامپایل شدن این فایل باید کتابخانه های مورد نیاز آن را که در پوشه Arduino Libraries هستند دانلود کرده و مطابق ویدئوی راهنمای مینی پروژه، آنها را در مسیر کتابخانه های نرم افزار آردوینو نصب کنید.



شکل ۱. نحوه اتصال I2C میان حسگر MPU6050 و برد آردوینو

^۶ Arduino Uno

در قسمت بالای کد موجود در فایل mpu6050.ino دو تعریف به شکل زیر مشاهده می شود:

```
#define OUTPUT_READABLE_QUATERNION

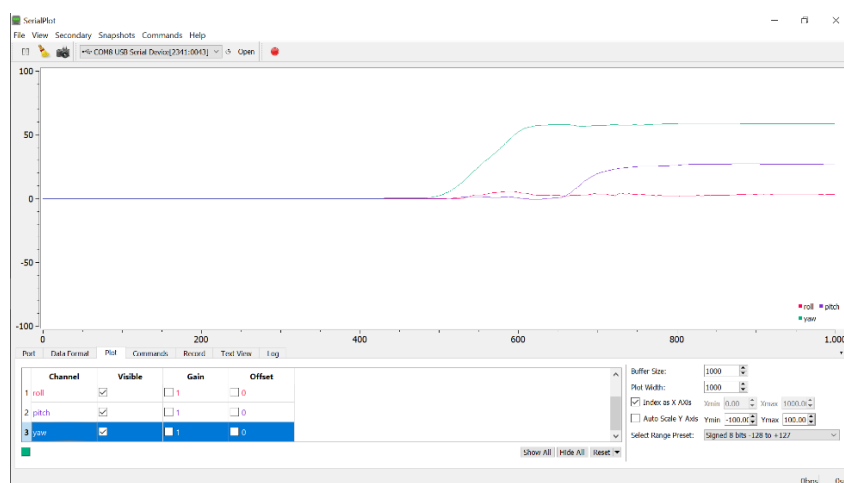
// #define OUTPUT_READABLE_YAWPITCHROLL
```

با تغییر این تعاریف می توانید اطلاعات مربوط به آن را در قسمت سریال مانیتور^۷ نرم افزار آردوینو مشاهده کنید. همان طور که گفته شد، حسگر MPU6050 توانایی اندازه گیری سرعت و شتاب زاویه ای را نیز دارد، اما در این مینی پروژه شما فقط با پارامترهای اوایلر-رودریگز^۸ و زاویه های roll, pitch, yaw سرو کار خواهید داشت؛ بنابراین فقط کد مربوط به خواندن این دو مجموعه پارامتر به شما داده شده است.

برای مثال، در قسمتی از کد که در تصویر فوق نمایش داده شده است، با کامنت کردن خط بالایی و بیرون آوردن خط پایینی از وضعیت کامنت، به جای Quaternions، زاویه های roll, pitch, yaw را در خروجی پورت سریال دریافت خواهید کرد.

نمایش داده ها روی نمودار:

برای نمایش داده ها روی نمودار می توان به صورت مستقیم از Serial Plotter نرم افزار آردوینو استفاده کرد، اما بعضی اوقات نمایش داده در این محیط با مشکل مواجه می شود. برای جلوگیری از بروز چنین مشکلی، توصیه می شود از نرم افزار SerialPlot استفاده کنید. این نرم افزار را می توانید از [این جا](#) دانلود کنید.

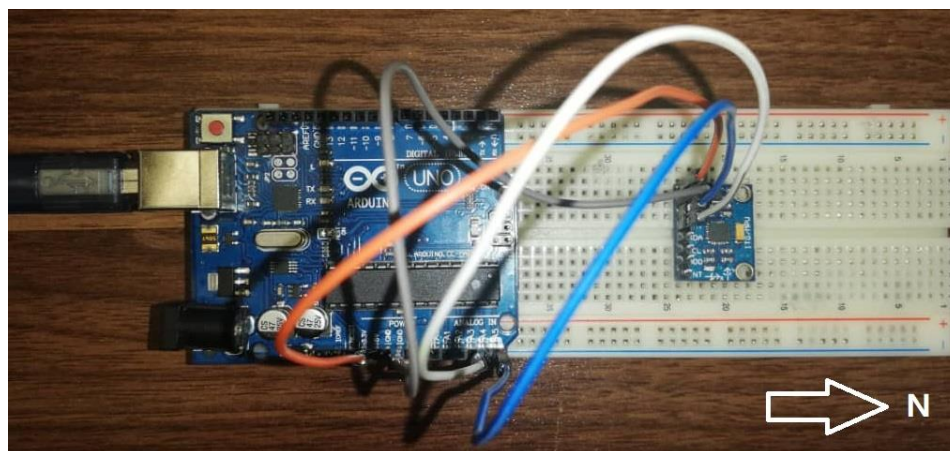


شکل ۲. محیط نرم افزار SerialPlot

^۷ Serial Monitor

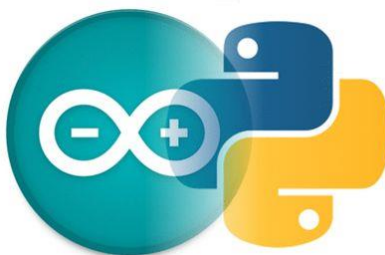
^۸ Quaternions

- مطابق شکل ۳، حسگر را طوری قرار دهید که محور x آن به سوی جهت شمال جغرافیایی باشد. در این صورت آیا می‌توان بدون استفاده از علائم روی بدنه حسگر و با مشاهده سیگنال‌های $roll$, $pitch$, yaw در محیط نرم‌افزار SerialPlot جهت محورهای y و z حسگر را تعیین کرد؟ توضیح دهید. (۵ نمره)



شکل ۳. نحوه قرارگیری حسگر نسبت به جهت شمال جغرافیایی

استفاده از پایتون در کنار آردوینو:



با استفاده از کتابخانه Serial در زبان برنامه‌نویسی پایتون، می‌توانیم از طریق پورت سریال، به ارسال و یا دریافت داده اقدام کنیم. پورت مورد استفاده آردوینو جهت ارتباط با کامپیوتر نیز سریال است؛ بنابراین در کد پایتون می‌توانیم از کتابخانه Serial استفاده کنیم و روی داده‌های خوانده شده از حسگر، پردازش‌هایی انجام دهیم که در محیط نرم‌افزار آردوینو دشوارند. کد اولیه پایتون که در آن با کمک کتابخانه Serial، زاویه‌های $roll$, $pitch$, yaw را از حسگر خوانده و چاپ می‌کند، از [این جا](#) قابل دسترسی است. این قطعه‌کد صرفاً ارتباطی میان کد پایتون و نرم‌افزار آردوینو ایجاد می‌کند. در قسمت‌های بعدی، شما باید کدهای خود را به این فایل اضافه کنید.



به دست آوردن ماتریس دوران:

همان طور که در درس دیده‌اید، دوران اجسام را می‌توان از جهت‌های گوناگونی مورد بررسی قرار داد. زاویه‌های roll, pitch, yaw در واقع همان زاویه‌های دوران در دستگاه مختصات ثابت^۹ هستند. ارائه^{۱۰}‌های مختلفی در این سیستم وجود دارد که می‌توان به کمک آن‌ها ماتریس حالت‌های مختلف دوران را به دست آورد.

- تابعی پیاده‌سازی کنید که با استفاده از زاویه‌های roll, pitch, yaw ماتریس دوران را در هر ارائه دلخواه دستگاه مختصات ثابت چاپ کند؛ کد تکمیل‌شده را در فایل با نام Q1_1.py ذخیره کنید. (۱۰ نمره)
- دسته دیگری از پارامترهای دوران که می‌توان از حسگر MPU6050 استخراج کرد، Quaternions است. با استفاده از این پارامترها نیز می‌توان ماتریس دوران را به دست آورد.

- به فایل پایتون تابعی اضافه کنید که با خواندن Quaternions، ماتریس دوران را نمایش دهد؛ کد تکمیل‌شده را در فایل با نام Q1_2.py ذخیره کرده و برای قسمت بعدی بخش اول مینی پروژه، از این فایل استفاده کنید. (۱۰ نمره)
- نکته: برای آن که ماتریس دوران چاپ‌شده قابل بررسی باشد، بهتر است آن را هر چند ثانیه یک بار نمایش دهید.

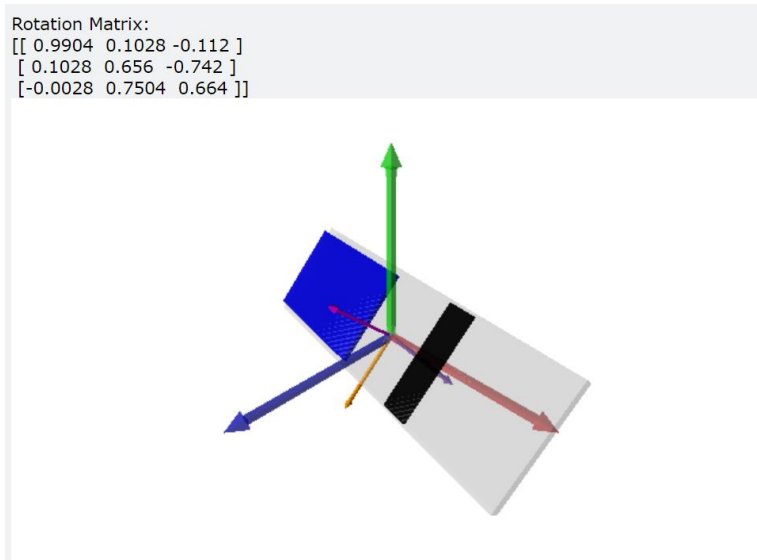
کتابخانه VPython:

کتابخانه VPython یکی از کتابخانه‌های زبان برنامه‌نویسی پایتون است که به شما این امکان را می‌دهد که از یک محیط شبیه‌سازی سه‌بعدی ساده در بستر مرورگر وب استفاده نمایید. در این قسمت می‌خواهیم با استفاده از ابزارهای موجود در این کتابخانه، شکلی مجازی ساخته و با استفاده از پارامترهای roll, pitch, yaw آن را مطابق حرکتی که حسگر تجربه می‌کند تکان دهیم. برای آشنایی با نحوه کار با این کتابخانه، ویدئوی راهنمای مینی پروژه را مشاهده کنید.

- یک شکل مجازی دلخواه در محیط شبیه‌سازی VPython ساخته و کدهای مربوط به دوران جسم در محیط شبیه‌سازی را به فایل Q1_2.py اضافه کنید. (۱۵ نمره)
- ماتریس دوران را (همانند شکل ۴) در محیط شبیه‌سازی VPython نمایش دهید. (۵ نمره)

^۹ Global

^{۱۰} Orientation



شکل ۴. نمایش ماتریس دوران در محیط شبیه سازی VPython

می دانیم که استفاده از زاویه های roll, pitch, yaw در این بخش محدودیت هایی به همراه دارد. این محدودیت ها باعث می شوند که تعقیب حرکت جسم در محیط شبیه سازی VPython به صورت کامل انجام نشود. برای رفع این مشکل می توان از Quaternions بهره برد. استفاده از این پارامترها محدودیت های ذکر شده را از بین برده و در نتیجه تعقیب حرکت جسم در محیط شبیه سازی به صورت کامل انجام می شود.

- توضیح کوتاهی راجع به این محدودیت ها دهید، سپس سعی کنید با استفاده از Quaternions، آن ها را رفع کنید؛ کد این قسمت را در فایل با نام Q1_3.py ذخیره کرده و ویدئوی کوتاهی^{۱۱} از نتیجه نهایی شبیه سازی تهیه کنید. دقت کنید که نمایش بی درنگ^{۱۲} ماتریس دوران در محیط شبیه سازی باید بخشی از این ویدئوی کوتاه باشد. (۲۵ نمره)

کاربردهای حسگرهای حرکت سنج:

- به نظر شما از نتایج بخش اول این مینی پروژه در چه زمینه هایی می توان استفاده کرد و چه کاربردهایی می توان برای آن در نظر گرفت؟ (۵ نمره)

^{۱۱} GIF

^{۱۲} Real-time



بخش دوم

همان طور که در مقدمه گفته شد، در این بخش می‌خواهیم دوران دست‌ها را با استفاده از وب‌کم کامپیوتر به دست آورده و در محیط شبیه‌سازی نمایش دهیم. این کار را با بهره‌گیری از کتابخانه‌های VPython و [MediaPipe](#) در زبان برنامه‌نویسی پایتون انجام می‌دهیم. MediaPipe یکی از فریم‌ورک‌های متن‌باز^{۱۳} گوگل است که از آن برای پردازش تصاویر زنده^{۱۴} استفاده می‌شود. یکی از کاربردهای این فریم‌ورک، ردیابی دست^{۱۵} است که در آن از یادگیری ماشین برای تشخیص ۲۱ نقطه روی تصویر سه‌بعدی دست استفاده می‌شود.

- همانند قسمت‌های قبل، یک شکل مجازی در محیط شبیه‌سازی VPython ساخته و با استفاده از مختصات نقاط گفته‌شده، دوران دست راست خود را به شکل مجازی منتقل کنید؛ راجع به روابطی که برای پیاده‌سازی این بخش استفاده کرده‌اید توضیح دهید. (۱۵ نمره)
- توضیح دهید که:

- از مختصات چه نقاطی استفاده کرده‌اید و چرا. (۵ نمره)
- اگر بخواهیم دوران دست را به محیط شبیه‌سازی منتقل کنیم، استفاده از حسگرهای حرکت‌سنج متصل به دست مناسب‌تر است یا استفاده از کتابخانه MediaPipe. (۵ نمره)
- (امتیازی) ماتریس دوران دست راست را با استفاده از مختصات نقاط گفته‌شده به دست آورده و در محیط شبیه‌سازی VPython نمایش دهید. (۱۰ نمره)
- (امتیازی) یک مجموعه نقاط متفاوت با قسمت قبل در نظر گرفته، دوران دست راست خود را با استفاده از آن‌ها به شکل مجازی منتقل کنید؛ نتیجه را با نتیجه قسمت قبل مقایسه کنید. (۵ نمره)

¹³ Open-source

¹⁴ Live media

¹⁵ Hand tracking



نکات مهم:

۱- ویدئوهای آموزشی گفته شده را می‌توانید در [این جا](#) ببینید. ویدئوی ۱۱ را برای نصب پایتون، ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ را برای نصب و راه‌اندازی VPython و ۱۷ تا ۲۱ را برای پیاده‌سازی شبیه‌سازی VPython مشاهده کنید. / این مینی پروژه یک تحویل برخط خواهد داشت؛ بنابراین دیدن آموزش‌های گفته شده و کپی کردن کدها کافی نخواهد بود و لازم است تا فهم درستی از کاری که انجام داده‌اید داشته باشید.

۲- فایل‌های خود را به صورت یک‌جا و با نام `MP1-<StudentName>-<StudentID>.zip` در سامانه eLearn آپلود کنید. لطفاً قواعد نام‌گذاری فایل‌های بخش اول مینی پروژه را رعایت کرده و کد بخش دوم را نیز در فایل با نام `Q2.py` قرار دهید. همچنین، توضیحات خواسته شده را در فایل با نام `report.pdf` بیاورید؛ دقت کنید که بخش مهمی از نمره مینی پروژه، به این فایل و ویدئوی کوتاه نتیجه نهایی بخش اول بستگی دارد. ارزیابی نتیجه نهایی بخش دوم نیز در زمان تحویل برخط انجام خواهد شد.

۳- در صورت وجود هر گونه اشکال یا ابهامی به [من](#) ایمیل بزنید.

۴- برای تأخیرهای کمتر از ۲۴ ساعت، نمره‌ای کسر نخواهد شد. برای تأخیرهای بین ۱ تا ۲ روز، ۱۰ درصد و برای تأخیرهای بین ۲ تا ۵ روز، ۵۰ درصد نمره مینی پروژه کسر خواهد شد. برای تأخیرهای بیش‌تر از ۵ روز، نمره مینی پروژه صفر در نظر گرفته خواهد شد.