بسم الله الرحمن الرحيم

عنوان مقاله:

سیستم سنجش موقعیت برپایه اینرسی
(IMU 6-DOF)
پیاده سازی با سنسور پیشرفته MPU6050

سیّداحمدموسوی

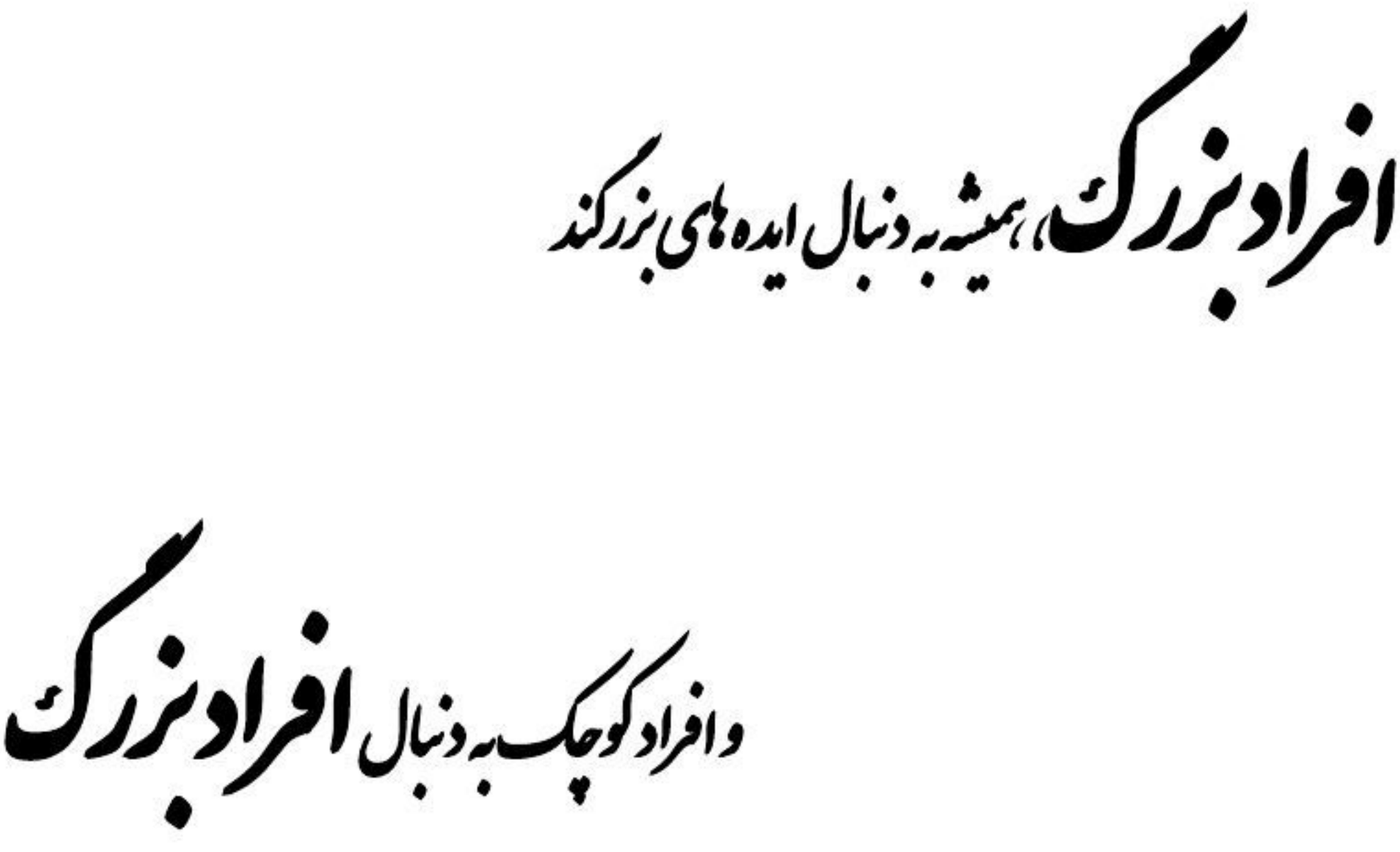
Mousavi.SeyyedAhmad@gmail.com

انجمن پژوهشگران الکترونیک ورباتیک

www.RoboticNGO.com

RoboticNGO

بهار ۱۳۹۳


افراد بزرگ، همیشه به دنبال ایده های بزرگند

و افراد کوچک به دنبال افراد بزرگ

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نو آوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به سید احمد موسوی[1] می باشد.

[1] Mousavi.SeyyedAhmad@gmail.com

چکیده :

سیستم سنجش موقعیت برپایه اینرسی یا همان **IMU** یکی از مهم ترین عناصر سیستم های کنترل موقعیت و در کل سیستم های هدایت و ناوبری است. امروزه نقش **IMU**ها در صنایع دفاعی، رباتیک، هوا فضا و ... بسیار کلیدی است.

هدف نهایی ما نیز در این پروژه طراحی ، ساخت و راه اندازی نمونه ای کوچک از این **IMU**ها می باشد. در راستای رسیدن به این هدف ، در این نوشتار، ابتدا به بیان تعاریفی از این گونه سیستم ها می پردازیم ، سپس انواع موجود و امکاناتشان را بررسی می کنیم و در نهایت درباره مراحل مختلف طراحی و ساخت آن بر پایه تراشه های پیشرفته سری **MPUxx50** توضیحاتی ارایه خواهد شد.

فهرست مطالب

فصل اوّل : IMU چیست؟

تعریف IMU ۱۰
تعریف AHRS ۱۰
کاربرد IMUها و AHRSها ۱۱
مفهوم DOF و درجات آن ۱۲

فصل دوّم : شتاب سنج ها و جایروسکوپ ها

شتاب سنج ۱۴
کاربرد شتاب سنج ها ۱۴
انواع شتاب سنج ها ۱۵
دستیابی به زوایای انحراف یا کجی صرفاً با کمک شتاب استاتیک ۱۵
جایروسکوپ ۱۶
اصل بقای اندازه حرکت زاویه ای ۱۷
نسل اول جایروسکوپها ، جایروسکوپ مکانیکی ۱۷
خاصیت صلب بودن جایروسکوپ ۱۸
حرکت تقدیمی ۱۹
انواع حرکت های متحرک در فضا ۱۹
کاربرد جایروسکوپ ها ۱۹
انواع جایروسکوپ ها ۲۰

فصل سوّم : I2C چیست؟

پروتکل I2C ۲۲
توابع مشهور پروتکل ارتباطیI2C ۲۳
کد های مشهور پروتکل I2C ۲۴

فصل چهارم : تکنیک ترکیب داده ها

ترکیب داده یا Data Fusion ۲۶
Sensor Fusion ۲۶
چرا به فیلتر احتیاج داریم ؟ ۲۷
فیلتر ها ۲۸
الف) فیلتر مکمل یا Complementary ۲۸
ب) فیلتر Kalman ۲۹
ج) فیلتر Mahony&Madgwick ۳۲

فصل پنجم: معرفی و راه اندازی MPU6050 (IMU 6-DOF)

MPU 60 50 ..... ۳۵
ویژگی ها و مشخصات MPU6050 ..... ۳۵
بلوک دیاگرام داخلی MPU6050 ..... ۳۶
اتصالات MPU6050 ..... ۳۷

فصل ششم : نحوه ارتباط با PC

رابط پرسرعت بی سیم RF7020 ..... ۳۹
رابط سریال USB به TTL با تراشه PL2303 ..... ۴۳

فصل هفتم : بهره گیری از یک IMU در ساخت برد کنترلی ربات های پرنده

فلایت کنترل ها در رباتهای پرنده ۴۵
طراحی و ساخت سخت افزار ۴۶
پروسه دستیابی به زوایای اویلر ۴۷

فصل هشتم : نمایش گرافیکی زوایای اویلر

کد متلب ۴۹

فصل اوّل

IMU چیست؟

تکنولوژی IMU

مخفف Inertial Measurement Unit که به واحد سنجش موقعیت ساکن یا سیستم سنجش موقعیت برپایه اینرسی ترجمه شده است، شامل سنسورهای الکترونیکی ای با ساختارMEMS[۲] هستند که سرعت خودرو ، جهت ، نیروهای گرانشی و ... را برای دستگاه های مختلف اندازه گیری و گزارش می کنند.

این تکنولوژی بر اساس تشخیص دقیق حرکات (زاویه) به وسیله شتاب سنج و جایرو بنا نهاده شده است.

البته در اکثر IMU های مرغوب قابلیت افزودن سنسور های جدید از قبیل سنسور فشار (برای تشخیص ارتفاع) ، سنسور تفاضلی فشار (برای تشخیص سرعت) و مگنومتر برای تشخیص دقیقتر حرکات و ... وجود دارد اما وظیفه اصلی بر دوش شتاب سنج (برای تشخیص حرکت) و جایرو (برای تشخیص زاویه) است .

همانگونه که متوجه شدید ماژولی قوی تر و بهتر است که از سنسور های بهتری استفاده کند (دیجتال باشد و توانای تشخیص سریعتری داشته باشد) هرچند به تازگی با برنامه نویسی (افزودن نرم افزار) تشخیص زاویه دقیقتر شده که همان تکنولوژی AHRS است ....

تکنولوژی AHRS

مخفف Attitude Heading Reference System به معنی سیستم مرجع ارائه دهنده شاخص های Attitude[۳] و Heading[۴] می باشد که شامل شتاب سنج ها ، جایروسکوپ ها و قطب نماهای MEMS یا solid-state در هر سه محور می باشد.

---

۲ MicroElectroMechanical Systems سیستم هایی با تکنولوژی الکترومکانیکی در ابعاد بسیار کوچک (میکرو متری)

[۳] اصطلاحAttitude در لغت به معنی ارزیابی و ارتباطات و رفتار های دو شی است ولی در علم هوافضا نشان دهنده وضعیت هواپیما نسبت به افق است، در واقع خلبان از روی این شاخصه می تواند بفهمد که وضعیت بال ها و دماغه ی پرنده نسبت به افق چگونه است.

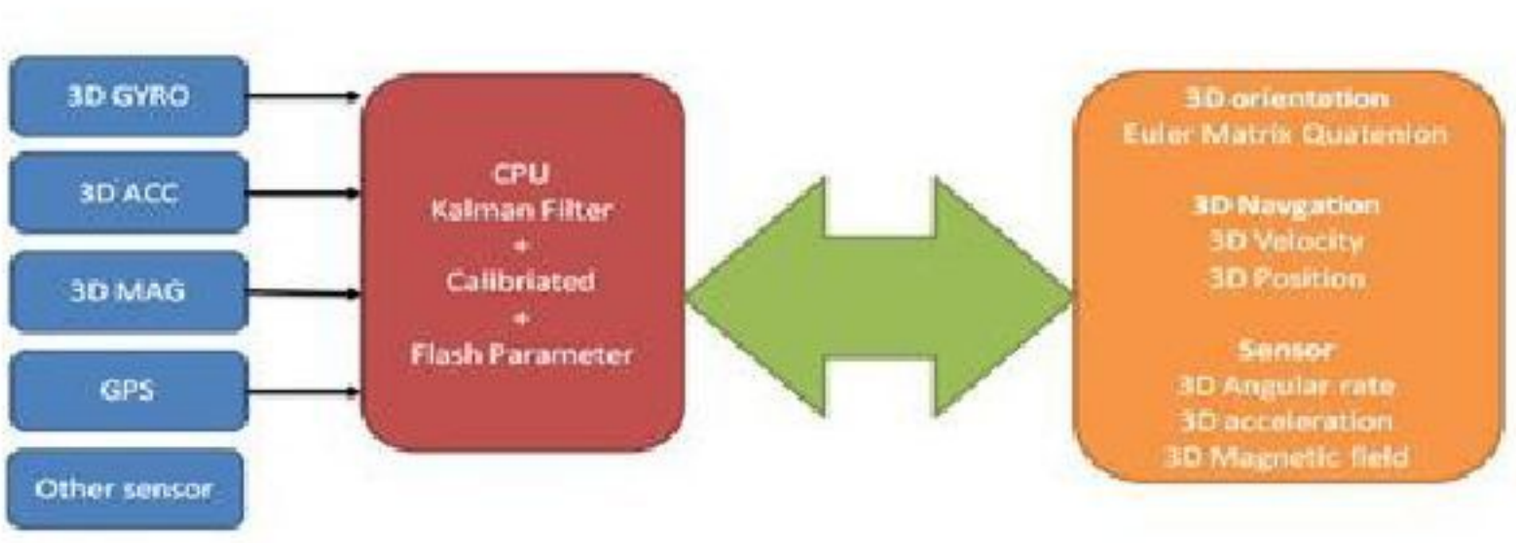
[۴] اصطلاح Heading در هوا فضا عبارت است از جهتی که دماغه هواپیما به آن اشاره می کند. در نگاه اول شباهت زیادی با زاویه Yaw دارد ولی در حقیقت Heading نوعی قطب نماست که همواره شمال حقیقی را نشان می دهد.

تفاوت کلیدی بین IMU و یک AHRS ، اضافه شدن یک سیستم پردازش داخلی در AHRS است که شاخه های attitude و heading را ارائه می دهد ، درحالی که یک IMU فقط اطلاعات سنسورها را ارائه می دهد تا نهایتاً در دستگاه دیگری محاسبات لازمه صورت گیرد.

سنسورهای AHRS در واقع برای این طراحی شده اند که جایگزین ابزارهای سنتی پرواز هواپیما موسوم به جایروسکوپ های مکانیکی عظیم جثه گردند و دقت و پایداری بهتری ارائه دهند.

به طور معمول یک AHRS دارای سنسورهای مختلفی است که توسط یک یا چند فیلتر ترکیب داده اطلاعات مورد نظر خود را بدست می آورد.

پس این روش بر اساس همان روش IMU است با این تفاوت که امکان تشخیص زوایای دقیقتر، بهتر انجام می شود؛ البته این روش نو پا است و هنوز به صورت گسترده استفاده نشده است ولی تمامی سیستم ها به سمت استفاده از این تکنولوژی حرکت میکنند . نمونه ای از بلوک دیاگرام یک سیستم AHRS را مشاهده می کنید.

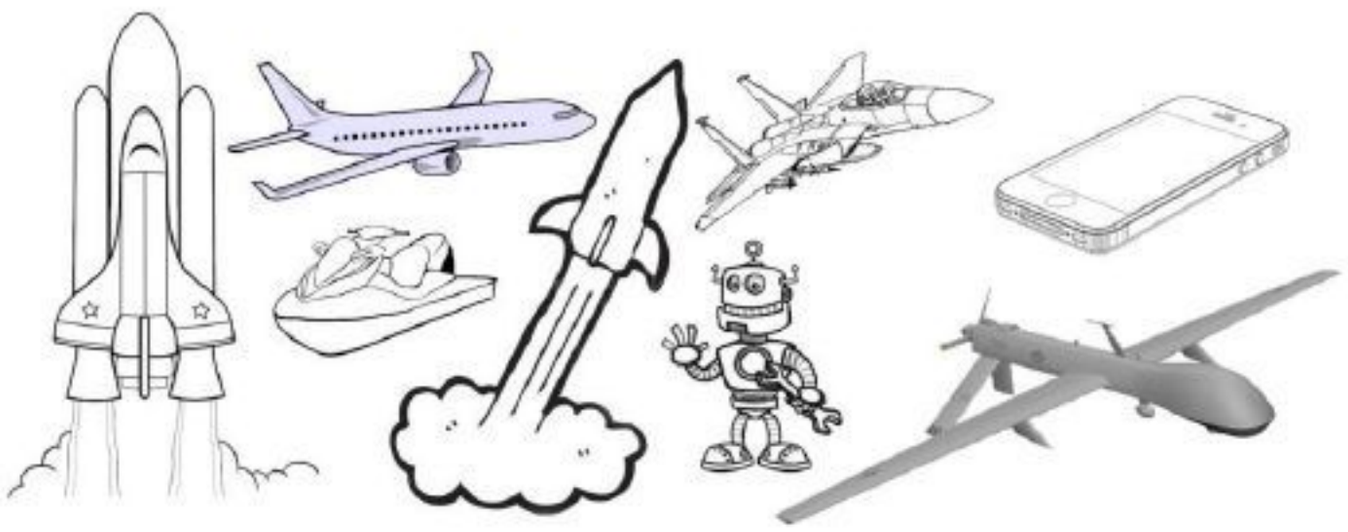


کاربرد IMUها و AHRSها

IMUها و AHRSها به طور معمول در صنایع هوافضا بویژه UAVها[۵]، موشکها و سفینه های فضایی بکار می روند اما در مصارف بسیاری همچون گوشی های هوشمند، ربات ها ، کنسول های بازی ، اسباب بازی ها و .... نیز نقش آنها پررنگ است.

---

۵ Unmanned Aerial Vehicle (پرنده های بدون سرنشین)



در کل با پیشرفت تکنولوژی و صنعت، امروزه شاهد این هستیم که سیستم های ناوبری برپایه اینرسی و ادوات کنترل کننده درونی نظیر IMUها و AHRSها در هر جایی که نیاز به کنترل موقعیت و جهت و... باشد نقش اساسی و کلیدی را ایفا می کنند.

مفهوم DOF و درجات آن

در واقع تعداد ورودی های یک سنسور در IMU به میزان درجه آزادی یا (Degrees of Freedom) آن اشاره می کند که به اختصار DOF خوانده می شود. بنابراین یک تراشه که دارای ۳ محور جایروسکوپ و ۳ محور شتاب سنج می باشد یک IMU شش DOF خواهد بود.

فصل دوم

شتاب سنج ها و جایروسکوپ ها

شتاب سنج

شتاب سنج دستگاهی است که مقدار شتاب صحیح (Proper Acceleration) را اندازه گیری می کند. شتاب صحیح ترکیب شتاب نسبت به جسم در حال حرکت(شتاب دینامیک) و شتاب ناشی از گرانش زمین (شتاب استاتیک) است. معمولاً شتاب را برحسب نیروی گرانش (g)[۶] اندازه گیری می کنند.

شتاب سنج دارای مدل‌های یک محوری و چند محوری است که می توانند اندازه و جهت شتاب را به عنوان یک کمیت برداری اندازه گیری کنند؛ می توان از حسگرهای شتاب سنج برای تعیین موقعیت و آشکار سازی لرزش و ضربه استفاده کرد. شتاب سنج‌های ریزماشین کاری شده با روند رو به افزایشی در لوازم الکترونیکی قابل حمل و کنترلرهای بازی‌های کامپیوتری برای تعیین موقعیت و به عنوان ورودی بازی‌های کامپیوتری به کار می روند.

به طور مفهومی، یک شتاب سنج مانند یک جسم میرا کننده روی یک فنر عمل می کند. هنگامی که شتاب سنج با شتابی حرکت می کند، جسم به اندازه ای جابجا می‌شود که نیروی وارد شده از فنر به جسم، جسم را با شتابی برابر شتاب بدنه ی شتاب سنج حرکت دهد. سپس با اندازه گیری میزان جابجایی مقدار شتاب اندازه گیری می شود.

شتاب سنج‌های جدید معمولاً بر پایه سیستم‌های الکترومکانیکی میکرومتری (MEMS) هستند. این ادوات در واقع ساده‌ترین ادوات تحقق پذیر MEMS هستند.

کاربرد شتاب سنج ها:

- اندازه گیری شتاب وسیله‌های نقلیه (ارزیابی کارایی موتور و سیستم انتقال گشتاور و سیستم ترمز)
- اندازه گیری آهنگ مصرف انرژی حیوانات (شتاب سنج ها در زیست شناسی)
- ایمنی دستگاه‌ها از لرزش شدید یا سقوط آزاد
- مانیتور کردن سلامت دستگاه‌های چرخشی
- یافتن نقطه اوج در پرتاب موشک
- سیستم کیسه هوا در وسایل نقلیه مدرن
- کنسول بازی ویدئویی
- جهت یابی و ارائه زوایای انحراف (تراز سنج)
- و ....

---

[۶] $g=9.8m/s^2$

انواع شتاب سنج ها:

آنالوگ: شتاب سنج های آنالوگ،اطلاعات را به صورت یک ولتاژ آنالوگ درخروجی هر محور اعمال می کنند.

برخی از شتاب سنج های آنالوگ موجود در بازار ایران:

MMA7260 / MMA7361 / ADXL202 /ADXL335

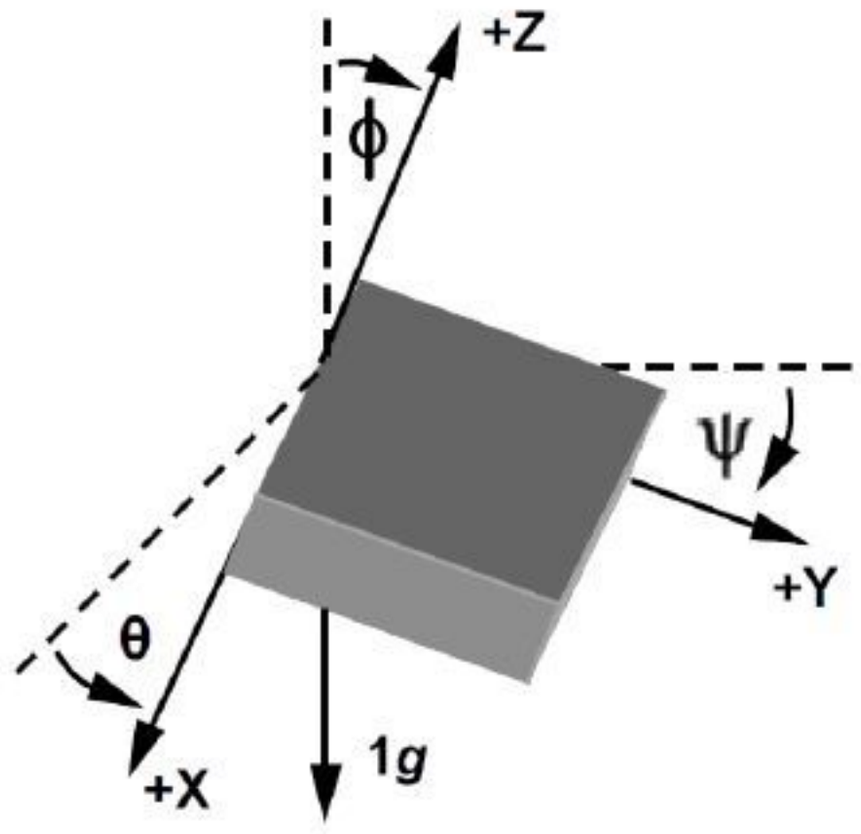
دیجیتال: شتاب سنج های دیجیتال، اطلاعات خروجی را بواسطه ی یکی از پروتکل های ارتباطی من جمله I2C , UART , SPI و ... ارائه می دهند.

برخی از شتاب سنج های دیجیتال موجود در بازار ایران:

MMA7455 /ADXL345 / MPU6050 / SCA3000

دستیابی به زوایای انحراف یا کجی صرفاً با کمک شتاب استاتیک

از آنجا که یک شتاب سنج MEMS ترکیبی از شتاب استاتیک ناشی از نیروی گرانش زمین و شتاب دینامیک ناشی از شتاب در حرکت را ارائه می دهد، در صورت که شتاب سنج با حرکت همراه نباشد یا حداقل اندازه گیری شتاب بعد از پایدار شدن از منظر فیزیکی صورت گیرد ، می توان از فرمول های هندسی زیر برای دستیابی به زاویای انحراف یا کجی استفاده کرد.



$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{A_{X,OUT}}{\sqrt{A^2{}_{Y,OUT} + A^2{}_{Z,OUT}}}\right)$$

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{A_{Y,OUT}}{\sqrt{A^2{}_{X,OUT} + A^2{}_{Z,OUT}}}\right)$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{A^2{}_{X,OUT} + A^2{}_{Y,OUT}}}{A_{Z,OUT}}\right)$$

مهمترین کاربرد فرمولهای فوق را می توان استفاده از شتاب سنج و فرمولهای آن بعنوان ترازسنج نام برد.

محدودیتی در استفاده از فرمول های فوق با شتاب سنج آنالوگ یا دیجیتال وجود ندارد. تنها نکته آن این است که اگر در شتاب سنج آنالوگ ولتاژ آنالوگ قرائت می شود باید این ولتاژ که یک کمیت نسبی برای ارائه شتاب است از ولتاژ به داده واقعی یعنی شتاب تبدیل گردد و سپس مورد استفاده در فرمولهای فوق قرار گیرد.

جایروسکوپ

در تعریف لغوی جایروسکوپ می توان گفت که کلمه جایروسکوپ از دو کلمه Gyro به معنای دوران و Scope به معنای نشان دادن تشکیل شده است. بنابراین به این وسیله می توان دوران نما نیز گفت که وظیفه خود یعنی نمایش دوران را بیان می کند.

یک جایروسکوپ سرعت زاویه ای(نرخ تغییرات در زاویه گیری) را اندازه گیری می کند، لذا باید دقت داشت که زاویه ی جهت گیری خود را ارائه نمی دهد بلکه نرخ تغییرات را ارائه می دهد.

با پردازش این اطلاعات می توان موقعیت کلی جسم را نیز بر اساس محاسبات به دست آورد. جایروسکوپ عضو اصلی سیستم های هدایت اینرسی می باشد. سیستم هدایت اینرسی که در ناوبری اینرسی مورد استفاده قرار می گیرد، سیستمی است که جهت مشخص کردن موقعیت یک متحرک مانند وضعیت هواپیما یا کشتی با استفاده از متغییر های اینرسی...

در تمام مسایل حرکتی اطلاع از موقعیت و زاویه جسم و سرعت زاویه ای آن امری ضروری است، چرا که بدون اطلاع از وضعیت جسم، کنترل آن به سمت هدف غیر ممکن بوده و امری محال به نظر می رسد. به دست آوردن این اطلاعات از روی زمین برای اجسامی مانند موشک یا ماهواره و یا گوشی های تلفن همراه، کاری بسیار پیچیده و در بعضی موارد غیر ممکن است؛ به عنوان مثال اگر مسیر موشک را در مدت زمان معین نتوانیم کنترل کنیم، موشک از مسیر خارج شده و ما را به هدف نخواهد رساند.

برای دست یابی به زاویه ، سنجش سرعت زاویه ای یا همان ω در هر کدام از محور های X ، Y و Z باید در فواصل زمانی مشخصی صورت گیرد. (تغییر در زاویه $= \omega \times \Delta t$)

با هر مقدار چرخش و تغییر موقعیت جایروسکوپ، سرعت زاویه ای اضافه یا کم می شود که این تغییرات به مقدار اولیه ω اضافه می شود لذا زاویه ناشی از جهت گیری جدید ، حاصل زاویه اصلی بعلاوه این تغییرات است.

با توجه به اضافه شدن مکرر تغییرات ، وجود خطایی بسیار کوچک نیز ممکن است در طول زمان خطایی بزرگ را ایجاد کند. Drift یا راندگی در جایروسکوپ ها پدیده ایست که در طول زمان اطلاعات جایرو را تا حدود زیادی نادرست می کند.

جایروسکوپ ها سنسورهایی هستند که ما از آن ها جهت به دست آوردن سرعت زاویه ای و موقعیت زاویه ای استفاده می کنیم. با پردازش این اطلاعات می توان موقعیت کلی جسم را نیز بر اساس محاسبات به دست آورد. جایروسکوپ عضو اصلی سیستم های هدایت اینرسی می باشد. سیستم هدایت اینرسی که در ناوبری اینرسی مورد استفاده قرار می گیرد، سیستمی است که جهت مشخص کردن موقعیت یک متحرک مانند وضعیت هواپیما یا کشتی با استفاده از متغییر های اینرسی آن مثل سرعت و شتاب به کار می رود؛ این امر از طریق اندازه گیری این کمیت ها توسط حس کننده اینرسی انجام می گیرد.

وظیفه اصلی جایروسکوپ ها ایجاد یک دستگاه مختصات مرجع است و شتاب سنج ها شتاب متحرک در امتداد چنین محورهایی را اندازه می گیرند، این شتاب می تواند نسبت به دستگاه مرجع اینرسی یا دستگاه مرجع دیگری مثل دستگاه متصل به زمین باشد.

اصل بقای اندازه حرکت زاویه ای

طبق اصل بقای اندازه حرکت زاویه ای، هر جسم در حال چرخش متقارن، سعی دارد جهت خود را همواره در فضا حفظ کند. لذا اگر یک جسم متقارن با وزن زیاد را با سرعت بالا بچرخانیم و اطراف آن را با یاتاقان و بلبرینگ آزاد بگذاریم تا نیروهای خارجی بر آن اعمال نشود، با چرخش قاب سیستم، جهت چرخش جسم دوار تغییر نمی‌کند؛ بنابراین می توانیم بدین وسیله در اجسام متحرک، جهت ثابتی داشته باشیم که وضعیت فعلی خود را در هر لحظه با آن مقایسه نماییم و موقعیت زاویه ای و نیز با محاسبه سرعت تغییر، سرعت زاویه ای را به دست آوریم.

نسل اول جایروسکوپ ، جایروسکوپ مکانیکی

جایروسکوپ مکانیکی دستگاهی است که متشکل از یک چرخ نخ ریسی به همراه ۲ حلقه مدور به عمود بر یکدیگر سوار شده اند. این چرخ نخ ریسی به دور محور خود با صرف نظر از هم ترازی با حلقه بیرونی می چرخد و حلقه های عمود بر هم با توجه به چرخش چرخ نخ ریسی، گردش می کنند.

عضو اصلی جایروسکوپ های مکانیکی، یک دستگاه دوار یا روتور(rotor) است که معمولاً با سرعت زیاد حول محور تقارن خود دوران می‌کند. این سرعت از ۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰ دور در دقیقه است؛ بنابراین در اثر اینرسی جرم دوار، اندازه حرکت (ممنتوم) نسبتا بزرگی ایجاد می شود. اگر یاتاقان بندی محور چرخش را در طوقه ای معلق تعبیه کنیم، به طوری که گشتاور خارجی به آن وارد نشود، با وجود تمام حرکت های قاب، محور چرخش روتور همواره در جهت ثابتی می ماند و موقعیت خود را در فضا حفظ می کند.

با این روش می توان جهت و یا محورهای ثابتی را برای وسیله نقلیه تعریف کرد که هر گونه حرکت زاویه ای نسبت به این محورها سنجیده می شود.

خاصیت صلب بودن جایروسکوپ

همان گونه که اشاره شد، جایروسکوپ از خاصیت صلبیت استفاده می کند. طبق قانون دوم نیوتن، مجموعه گشتاورهای خارجی وارد بر سیستم دوار حول یک نقطه مانند مرکز جایروسکوپ برابر است با تغییرات زمانی اندازه حرکت زاویه ای سیستم حول همان نقطه، لذا چون اندازه حرکت زاویه ای سیستم برابر صفر است، مقدار و جهت بردار اندازه حرکت زاویه ای جایروسکوپ در فضای اینرسی ثابت می ماند.

حرکت تقدیمی:

چنانچه گشتاوری مانند M در راستایی غیر از راستای بردار اندازه حرکت زاویه ای به روتور اعمال شود، محور چرخش در راستای برداری عمود بر صفحه بردار گشتاور خارجی و اندازه حرکت زوایه ای، دوران خواهد کرد. جهت دوران به این صورت است که بردار اندازه حرکت زوایه ای همواره با طی زاویه کوچک تر به طرف بردار گشتاور خارجی بچرخد.

انواع حرکت های متحرک در فضا

هر متحرک در فضا ۶ درجه آزادی دارد که ۳ حرکت خطی و ۳ حرکت دورانی است. برای مشخص نمودن حرکت دورانی متحرک در فضا از ۳ محور عمود بر هم استفاده می شود که عبارتند از: محور رول یا محور طول، محور پیچ یا محور عرضی و محور یاو.

- محور رول: محور طولی یا محور جلو – عقب را محور رول می نامند و حرکت رول یعنی دوران متحرک حول محور طولی خودش.
- محور پیچ: محور عرضی یا جنبی را محور پیچ گویند. و حرکت پیچ دوران متحرک حول محور عرضی خودش است که محوری افقی است و عمود بر محور طولی می باشد.
- محور یاو: محور عمود بر دو محور یاو و پیچ است و دوران متحرک حول این محور قائم را دوران یاو گویند.

کاربرد جایروسکوپ ها

- این سنسور در مکان های متعددی مورد استفاده قرار می گیرد که از جمله ی آنها عبارتند از:
- ثابت نگه داشتن و حفظ تعادل اجسام ، دستگاه ها و ماشین آلات مختلف (صنعت رباتیک)
- امنیت در خودرو (یا اجسام متحرّک)
- شبیه سازی حرکت انسان در ربات
- نقشه برداری از سطوح مختلف سطح زمین
- سیستم های اتو پایلِت در هواپیماها و هلیکوپترها
- کنترل و تصحیح زاویه ی حرکت رباتهای(بازوهای) صنعتی
- برای حفظ تعادل و کنترل ماشین ها و رباتها

انواع جایروسکوپ ها

آنالوگ: جایروهای آنالوگ،اطلاعات را به صورت یک ولتاژ آنالوگ درخروجی هر محور اعمال می کنند.

برخی از جایروهای آنالوگ موجود در بازار ایران:

PizoElectric ENC-03M / SD 470 / LISY300AL / LPR530AL

دیجیتال: جایروهای دیجیتال، اطلاعات خروجی را بواسطه ی یکی از پروتکل های ارتباطی من جمله I2C , UART , SPI و ... ارائه می دهند.

برخی از جایروهای دیجیتال موجود در بازار ایران:

ITG3200 / L3G4200D / MPU6050

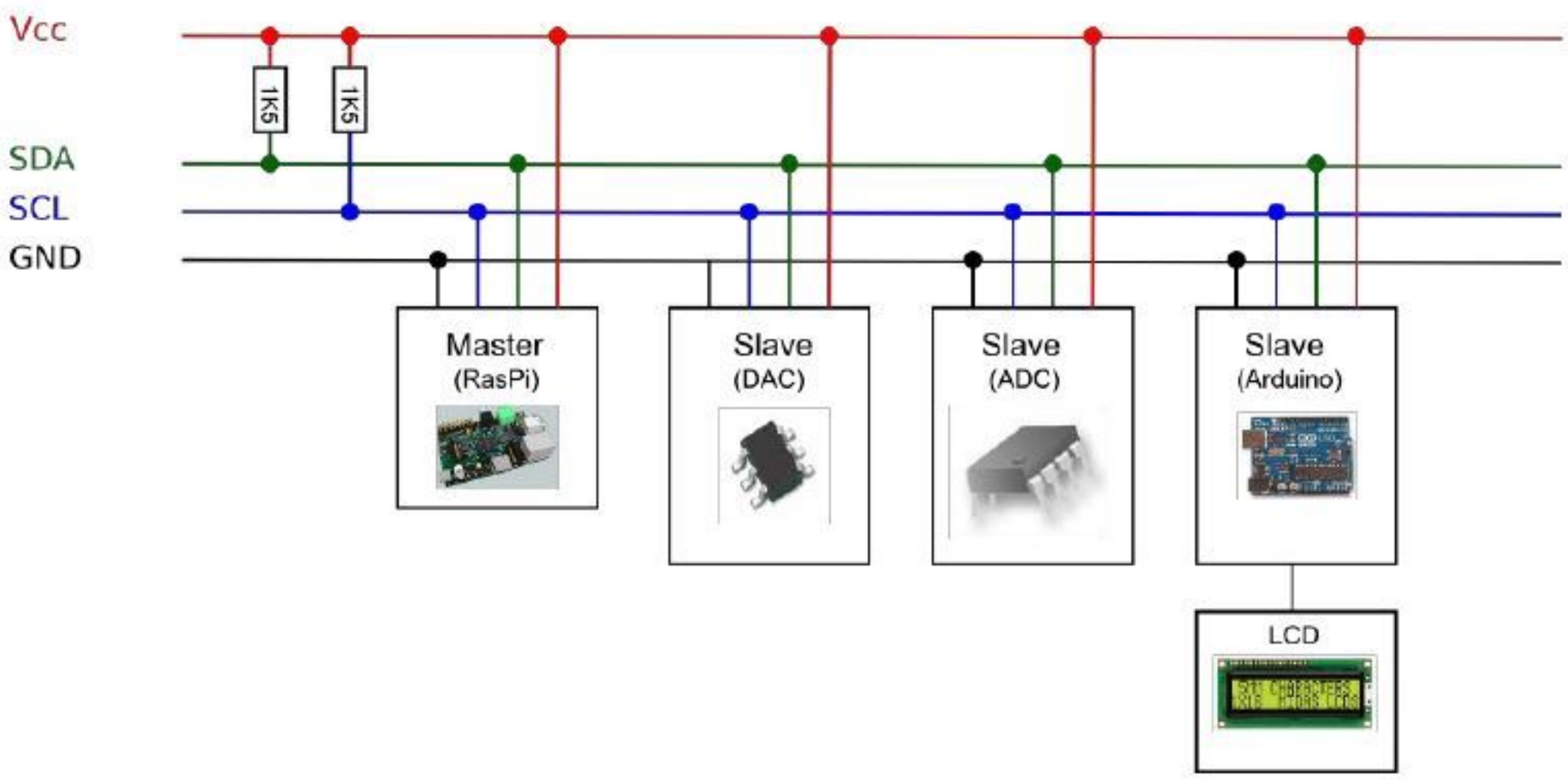
فصل سوم

I2C چیست؟

پروتکل I2C

در مورد این پروتکل ارتباطی مشهور بهتر است بدانیم که:

I2C مخفف کلمه Inter Integrated Circuit است و یک پروتکل ارتباطی سریال بین مدارات مجتمع می باشد. از این پروتکل برای ارتباط میکروکنترلر و وسایل جانبی نظیر حافظه ها ، سنسورها و ... استفاده می شود.



این ارتباط تنها از طریق دو سیم برقرار می شود:

SDA (Serial Data) و SCL (Serial Clock)

هر دستگاهی که از طریق این پروتکل کار می کند یک آدرس ۷بیتی منحصر به فرد دارد. به عنوان مثال آدرس منحصر به فرد MPU6050 عدد D0 در مبنای هگزادسیمال می باشد.

آدرس I2C در بایت اول فرستاده می شود که بیت کم ارزش بایت اول تقاضای خواندن و یا نوشتن Master را نشان می دهد. (برای نوشتن ۱ و برای خواندن صفر)

در اینجا دستگاهی که اطلاعات را میفرستد Master و دستگاهی که اطلاعات را میگیرد Slave نامیده میشود. Master با فرستادن یک سیگنال بر روی خط SDA انتقال اطلاعات را آغاز و با فرستادن سیگنالی دیگر بر روی همین خط انتقال اطلاعات را متوقف می کند.

در هنگام ارسال سیگنالهای Start و Stop سیگنال SCL یک میباشد.

هنگامی که Master انتقال اطلاعات را آغاز کرد بایت Device address را در Slave مینویسد. Slave یک بیت Acknowledge بعد از دریافت اطلاعات خواهد فرستاد.

توابع مشهور پروتکل ارتباطیi2c :

void **i2c_init**(void)

این تابع اولین تابعی است که باید فراخوانی شود تا تعاریف اولیه و مقداردهی های اولیه انجام شود.

unsigned char **i2c_start**(void)

همان طور که از اسمش پیداست شرایط آماده سازی را فراهم می کند. اگر آماده به کار بود عدد ۱ و اگر آماده نبود به عبارتی مشغول بود عدد ۰ را بر می گرداند.

void **i2c_stop**(void)

این تابع نیز همان طور که از اسمش پیداست شرایط توقف رو فراهم می کند.

unsigned char **i2c_read**(unsigned char ack)

یک بایت که همان دیتا باشد را خوانده و به خروجی بر می گرداند. آرگومان ack آن مشخص می کند که یک خبر پس از وصول دیتا ارسال شود یا خیر (مانند delivery موبایل) که ۱ بودن ack باعث ارسال خبر و ۰ موجب عدم ارسال آن می شود. به عبارتی در تابع i2c_read آرگومان ورودی اگر ۰ باشد، یعنی خواندن از device موردنظر ادامه ندارد و اگر ۱ باشد، یعنی خواندن از device موردنظر ادامه دارد.

unsigned char **i2c_write**(unsigned char data)

یک بایت را در درگاه i2c می نویسد. عدد ۱ را برای اطلاع از تکمیل نوشتن و ۰ اعلام بروز اشکال در نوشتن بر می گرداند.

کد های مشهور پروتکلi2c

روند اجرای کدها جهت خواندن از باس i2c به شکل زیر است:

```
i2c_start();
i2c_write(BUS_ADDRESS);
i2c_write(REG_ADDRESS);
i2c_start();
i2c_write(BUS_ADDRESS | 1);
data=i2c_read(0);
i2c_stop();
```

البته معمولاً پیشنهاد می شود که قبل از i2c_read تاخیر کوچکی مثلا ۴ یا ۵ میلی ثانیه نیز برای اطمینال از نوشتن اطلاعات برروی باس حاصل شود.

و کد های لازمه برای نوشتن بر باس i2c هم به شکل زیر است:

```
i2c_start();
i2c_write(BUS_ADDRESS);
i2c_write(REG_ADDRESS);
i2c_write(data);
i2c_stop();
```

فصل چهارم

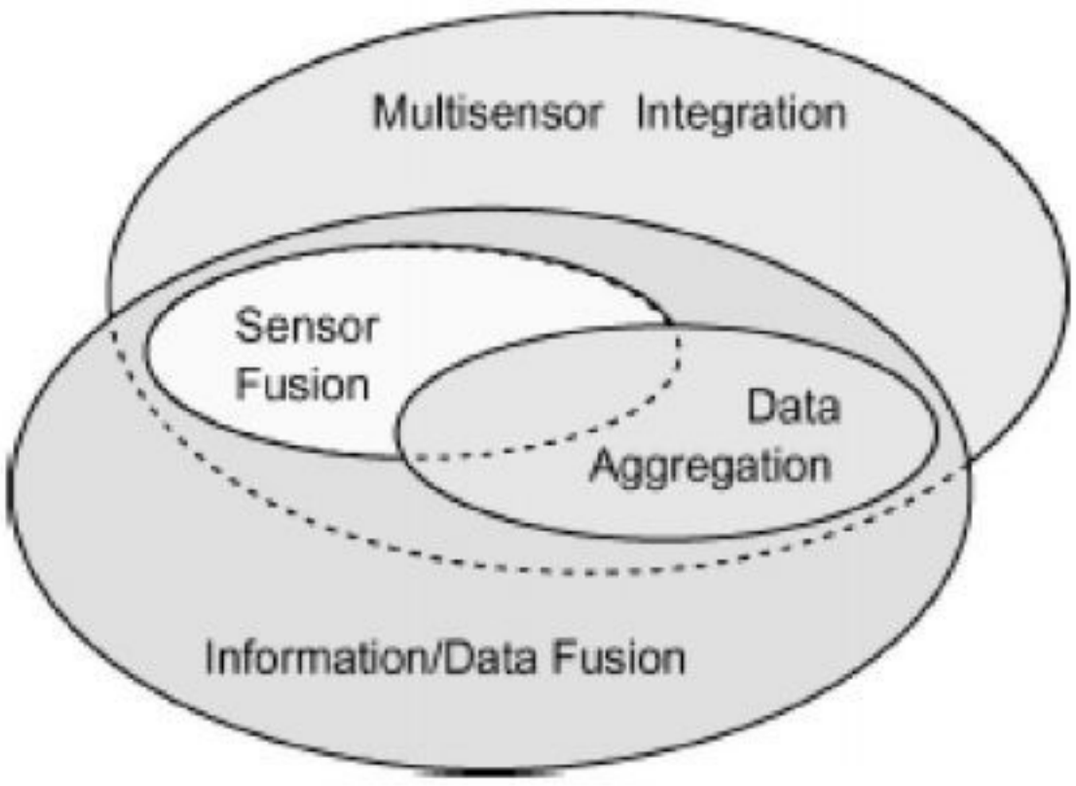
تکنیک ترکیب داده ها

ترکیب داده یا Data Fusion

اصطلاح Data Fusion یا همان ترکیب داده عبارت است از پروسه ای از ادغام اطلاعات و دانش متعدد ناشی از یک شی یا عمل واقعی که منجر به دقت و پایداری در اطلاعات مفید و کاربردی شود.

پروسه ترکیب داده اغلب به دسته های کم ، متوسط ، زیاد دسته بندی می شود و با توجه به مراحل پردازش ترکیب داده در یکی از آن سطح ها قرار می گیرد.

Sensor Fusion



ترکیبی از اطلاعات حسی یا مشتقات آن از منابع نابرابر است که نتیجه ی آن از زمانی که اطلاعات به صورت جداگانه و مستقل استفاده می شود مطلوب تر، کامل تر، قابل اعتماد تر، دقیق تر است. Sensor Fusion معروف است به Data Fusion که آن نیز زیر مجموعه Information Fusion است.

لذا در دستگاه های سیار در صورت استفاده از تکنیک ترکیب داده معمولا از تعداد زیادی سنسور استفاده می شود زیرا:

- یک سنسور ممکن است کافی نباشد
- سنسورها در عمل دارای نویز زیادی هستند
- دقت آنها محدود است
- خراب میشوند (قابل اعتماد نیستند)
- قسمت محدودی از محیط را تحت پوشش قرار میدهند
- قادر به توصیف دقیق محیط نیستند
- سنسور مورد علاقه ممکن است گران باشد لذا ممکن است با ترکیب چند سنسور ارزان به هدف مورد نظر رسید

در موضوع ترکیب اطلاعات سنسورها، ممکن است داده ها از چند منبع مختلف یا چند سنسور متفاوت که در موقعیت های گوناگون قرار گرفته اند تأمین شوند. دو روش متداول برای ترکیب داده ها شامل دو گزینه ی زیر است:

الف- استفاده از شبکه های عصبی

ب- استفاده از فیلترینگ نظیر فیلتر کالمن[۷]، فیلتر ماهونی[۸]، فیلتر مکمل[۹] و فیلتر مَدویک [۱۰]

چرا به فیلتر احتیاج داریم ؟

همانطور که شرح داده شد ، به دست آوردن موقعیت زاویه ای با استفاده از هر کدام از سنسور های شتاب سنج و یا جایروسکوپ امکان پذیر است . اما هر دوی این سنسور ها ایراد بزرگی دارند که استفاده از داده های آنها را را به تنهایی و بدون فیلتر غیر ممکن می سازد .

الف) ایراد شتاب سنج : می دانیم شتاب سنج تمام نیرو های وارد بر شئ را اندازه گیری می کند ، بنا براین علاوه بر نیروی جاذبه زمین بسیاری از نیروی های دیگر را نیز اندازه گیری می کند . هرنیروی کوچکی که بر شئ وارد شود می تواند اندزه گیری سنسور را دچار خطا کند . ازین رو داده های شتاب سنج تنها در دراز مدت قابل اتکا هستند در نتیجه در خروجی آنها باید از فیلتر پایین گذر استفاده کرد .

ب) ایراد جایروسکوپ : همانطور که در بخش های قبلی به آن اشاره شد عمل انتگرال گیری بر روی داده های جایروسکوپ به صورت تقریبی از جمع متناهی از اعداد انجام می شود بنابراین خروجی جایروسکوپ در کوتاه مدت معتبر می باشد و در بلند مدت دچار انحراف(drift) می شود و در نتیجه در صورت بازگشت به موقعیت اولیه اندکی انحراف خواهد داشت .

---

[7] - Kalman filter
[8] - Mahony filter
[9] - Complementary filter
[10] - Madgwick filter

فیلترها

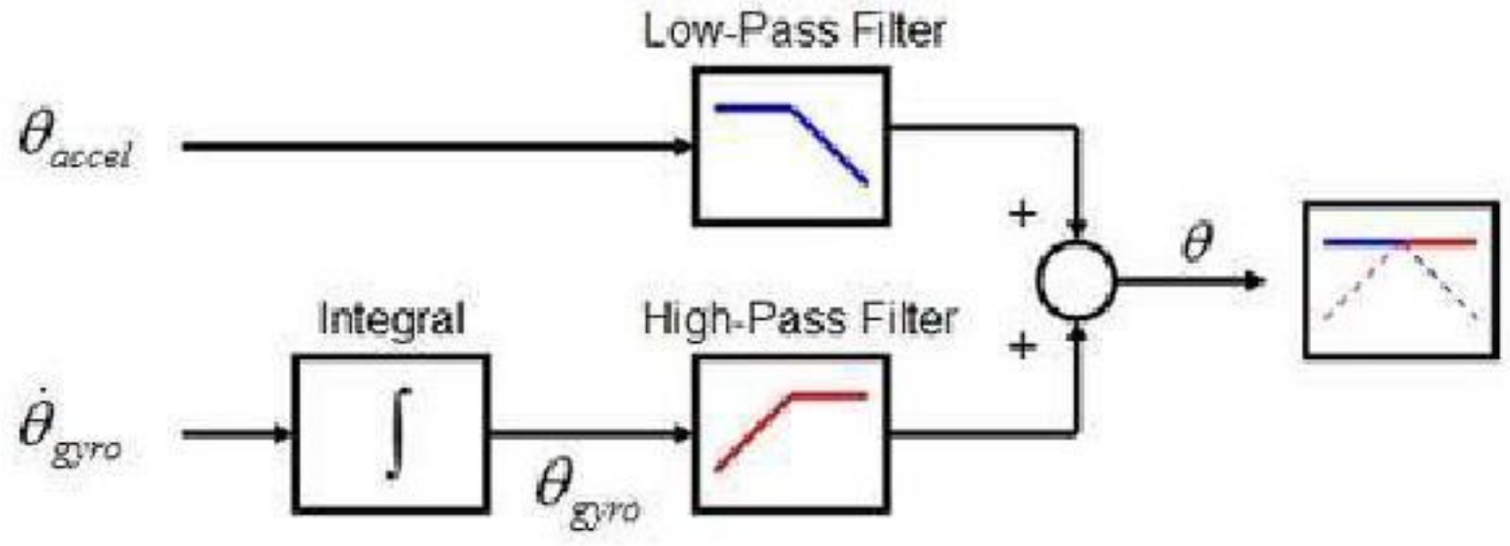
در این بخش آنالیز و مقایسه ای از فیلترهای ترکیب داده ارائه می دهیم و به این که آنها چگونه کار می کنند می پردازیم تا بهتر بفهمیم که رفتار آنها ، اختلافهای آنها و شباهت های آنها در چیست.

قابل ذکر است که از این پس براساس یک IMU با شش درجه آزادی مباحث را مطرح می کنیم.

سه روش فیلتر پایه به نام های Complementary یا مکمل ، کالمن یا Kalman و Mahony&Madgwick مورد بحث ماست.

الف) فیلتر مکمل یا Complementary

روش فیلتر مکمل ابتدایی ترین روش برای تلفیق داده های سنسور های شتاب سنج و جایروسکوپ هست . این فیلتر در کوتاه مدت از داده های جایروسکوپ استفاده می کند ، چرا که به نیرو های خارجی حساس نبوده و در زمان های کوتاه بسیار دقیق می باشد. لذا به دلیل اینکه داده های شتاب سنج در بلند مدت معتبر بوده و دچار انحراف نمی شود در بلند مدت از داده های شتاب سنج به تنهایی استفاده می کند .



این فیلتر شامل یک فیلتر پایین گذر به منظور تضعیف نوسانات کوتاه مدت شتاب شنج ، و همچنین یک فیلتر بالا گذر به منظور خنثی کردن تاثیرات ناشی از انحراف زاویه جایروسکوپ می باشد .

معادله ی اصلی این فیلتر را مشاهده می کنید:

$$\theta_{n+1} = A \times \left(\theta_n + \int \dot{\theta}_{gyro}\right) + [(1 - A) \times \theta_{accel}]$$

A ضریبی است ما بین ۰ و ۱ که نشان دهنده میزان اعتبار زوایای به دست آمده از جایروسکوپ و شتاب سنج در فیلتر می باشد . این ثابت معمولا عددی نزدیک به ۱ اختیار می شود. به عنوان مثال اگر این ضریب را ۰,۹۵ اختیار کنیم، بدان معناست که در هر بار اجرای فیلتر در حلقه تکرار ، ۹۵٪ از زاویه جدید از زاویه قبلی بعلاوه ی زاویه ی جایروسکوپ به دست می آید؛ ۵٪ باقی مانده از شتاب سنج به دست می آید.

چنانچه این فیلتر با فرکانس ۱۰۰Hz در یک حلقه ی تکرار اجرا شود ثابت زمانی برای هر دو فیلتر پائین گذر و بالا گذر به شکل زیر محاسبه می شود :

$$\tau = \frac{A.dt}{1-A} = \frac{0.98 \times 0.01sec}{1-0.98} = 0.49sec$$

این ثابت نشان دهنده این است که در بازه های زمانی کمتر از نیم ثانیه داده های جایروسکوپ اعتبار بیشتری داشته اما در بازه های زمانی بیش از نیم ثانیه شتاب شنج معتبر تر خواهد بود .

ب) فیلتر Kalman

فیلتر آقای کالمن، فیلتری است که در بسیاری از علوم و ابزارهای مختلف به کار گرفته می شود و در بسیاری از موارد، این بحث به عنوان مجموعه ای از معادلات، پا را از این فراتر می گذارد. فیلتر کالمن هواپیماها و فضاپیماها و موشکهای کروز را هدایت می کند و نیز قمرهای مصنوعی، گرایشهای اقتصادی و تغییرات جریان خون ما را دنبال می کند. این فیلتر بهترین تخمین از رفتار سیستم های دینامیکی را ارائه می دهد. هزاران مهندس، نمونه های کوچک و مختلفی از فیلتر کالمن منتشر کرده اند. آنها و ده ها هزار مهندس دیگر آرزوی چنین چیزی را داشتند که اولین کسی باشند که فیلتر مطلوب را یافته و ارائه می دهند. هر چند که ممکن است اشکالاتی کوچک هم داشته باشد.

فیلتر کالمن تخمین بهینه حالت‌ها است که برای سیستم‌های دینامیکی با اختلال تصادفی در سال ۱۹۶۰ برای سیستم‌های گسسته و در سال ۱۹۶۱ برای سیستم‌های پیوسته مطرح شده است .

این فیلتر غالباً مبتنی بر مدل ، خطی بودن مدل ، سفید و گوسی بودن نویزها است. اما اکنون استفاده از این فیلتر به سیستم‌های غیرخطی ، با دینامیک متغیر و شرایط دیگر نویزها، توسعه پیدا کرده است.

توضیحاتی مختصر از الگوریتم فیلتر کالمن:

فیلتر کالمن یک فرآیند را با استفاده از یک شکل یا فرم از کنترل بازخورد تخمین می زند، فیلتر پروسه را در حالتهای و زمان های مختلف تخمین می زند تا فیدبکی از اندازه گیری های نویزی بدست آورد.

به این ترتیب ، معادلات برای فیلتر کالمن به دو گروه تقسیم می شود:

۱- معادلات زمان به روزرسانی (time update)
۲- معادلات به روزرسانی اندازه گیری (measurement update)

معادلات زمان به روزرسانی، طرح ریزی و تخمین رو به جلوی حالت موجود و جاری و خطای کوواریانس را عهده دار هستند تا برای مرحله بعدی تخمین پیشینی بدست آورند. این معادلات را در زیر مشاهده می کنید:

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1}$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q$$

در معادلات فوق A ماتریس انتقال، B ماتریس کنترل و x_k بردار فضای حالت و u_k بردار کنترل در گام k ام یا گام k-1 ام را نشان می دهد.

همچنین پارامتر P_k و P_{k-1} تخمینی از خطای کواریانس[۱۱] کنونی و قبلی و نیز پارامتر Q نویز پروسه را بیان می کند.

[۱۱] در نظریه احتمالات کواریانس یا هم‌وردایی(به انگلیسیCovariance) ، اندازه تغییرات هماهنگ دو متغیر تصادفی است. (اگر دو متغیر یکی باشند، کواریانس برابر واریانس خواهد شد.

معادلات به روزرسانی اندازه گیری ، بهره فیلتر ، تخمین Zk و خطا را بدست آورده و به روز می کند.

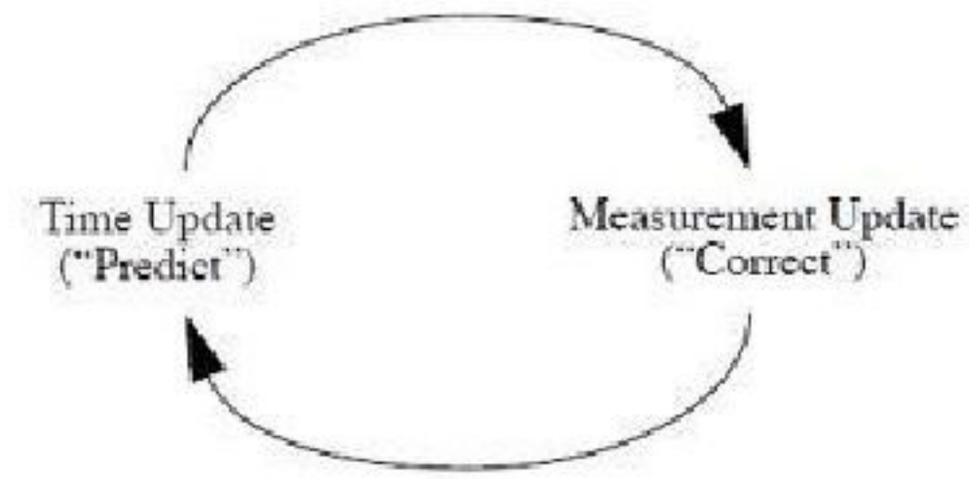
$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$$

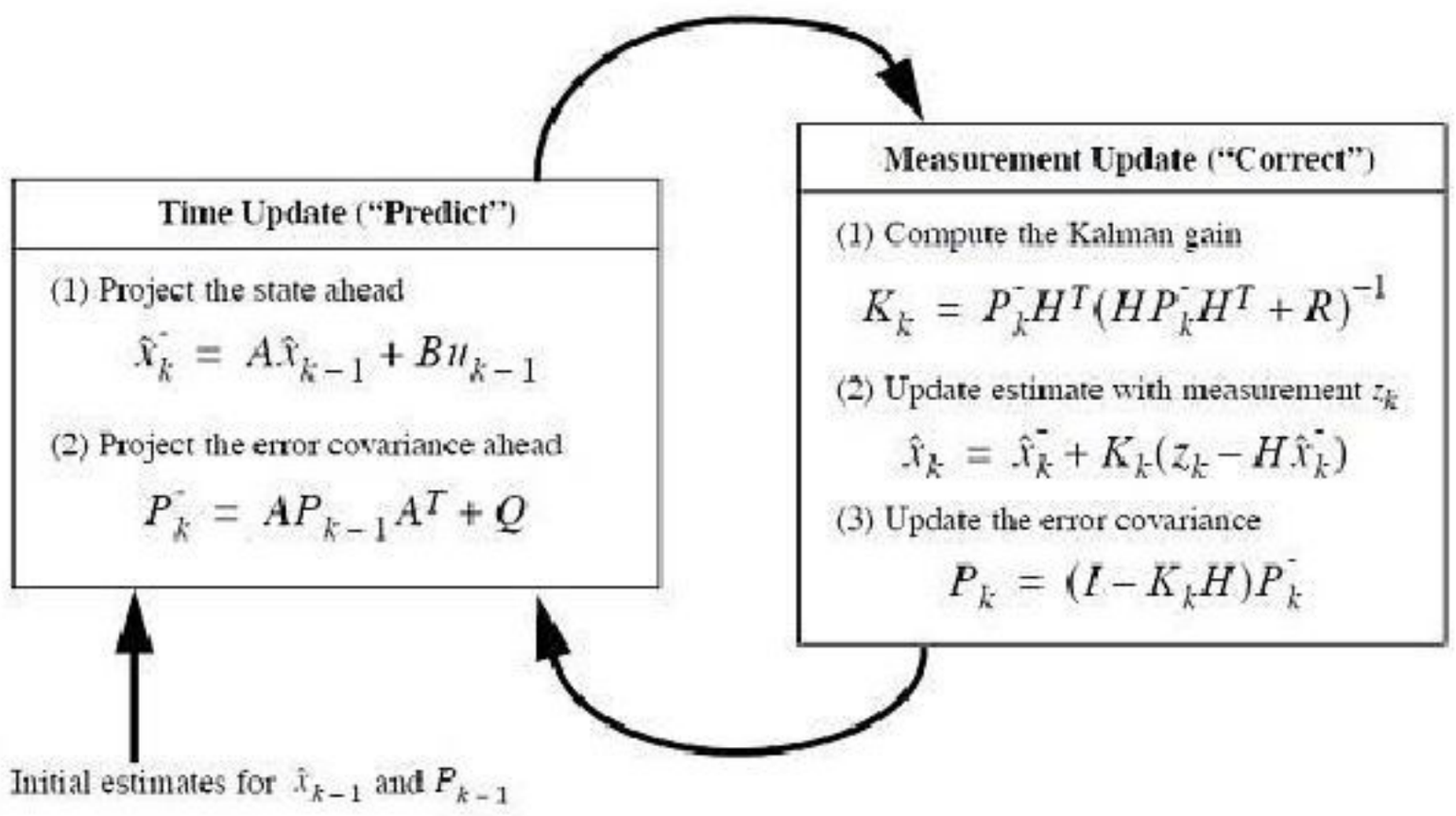
$$P_k = (I - K_k H) P_k^-$$

در معادلات فوق K بهره فیلتر کالمن و R مقدار خطای کواریانس اندازه گیری شده است.

چرخه گسسته فیلتر کالمن:



سیکل کامل یک عملیات فیلتر کالمن :



در پایان باید گفت که گرچه فیلتر کالمن بسیار مشهور و کاربردی در علوم مختلف است، اما پیچیدگی زیاد آن موجب شده که نسخه های مختلفی از آن تولید شود. البته استفاده از این فیلتر همیشه دلچسب نبوده است. با توجه به ماتریس های ضرایب و معادلات پیچیده و حجم زیاد پردازش ها، استفاده از فیلتر کالمن نیازمند استفاده از پردازنده قوی است.

لذا با توجه به موضوع پروژه و تجاری بودن آن و از طرفی نیاز به سرعت و دقت ، عملاً استفاده ی مطلوب از این فیلتر با هزینه ی کم امکان پذیر نیست!

ج) فیلتر Mahony&Madgwick

طرح Madgwick به طور قابل توجهی در جنبه های مختلف با Mahony اختلاف دارد، اما ایده ی حلقه فیدبک آنها مشترک است. علاوه بر این،آقای Madgwick کد C برای فیلتر آقای Mahony ارائه داده است، که به نظر ما بسیار مفید است. لذا ما رویکرد Mahony را به عنوان فیلتر Mahony&Madgwick ارائه می دهیم. در ادامه خواهیم دید که بهترین طرح معقول ، طرح Madgwick است.

در این فیلتر تخمین رانش جایرو به راحتی توسط یک کنترلر PI انجام می شود. که تابع تبدیل آن به شکل زیر است:

$$\boldsymbol{\theta} = \left(\boldsymbol{Kp} + \boldsymbol{Ki}\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{s}}\right)\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{s}}(\boldsymbol{a}-\boldsymbol{\theta}) + \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{s}}\boldsymbol{\omega}$$

اگر به شکل استاندارد معادله ی فوق را بازنویسی کنیم، داریم:

$\boldsymbol{\theta} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{s}}(\boldsymbol{Kp}.\boldsymbol{e} + \boldsymbol{I} + \boldsymbol{\omega})$ لذا $\boldsymbol{I} = \boldsymbol{Ki}\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{s}}\boldsymbol{e}$ و $\boldsymbol{e} = (\boldsymbol{a}-\boldsymbol{\theta})$ خواهد شد.

لذا در قوانین به روز رسانی خواهیم داشت:

$$I_k = I_{k-1} + K_i \Delta t (ak - \theta_{k-1})$$
$$\theta_k = a\theta_{k-1} + (1-a)a_k + (\omega_k + I_k)\Delta_t$$

در حالی که $a = 1 - K_p \Delta_t$ می باشد.

همان طور که مشاهده می شود، در نگاهی ساده به فیلتر ماهونی و مَدویک می توان فهمید که در نهایت سادگی و پختگی مقصود ما برای ترکیب داده جایرو و شتاب در فیلتر ماهونی و مَدویک قابل تحقق است.

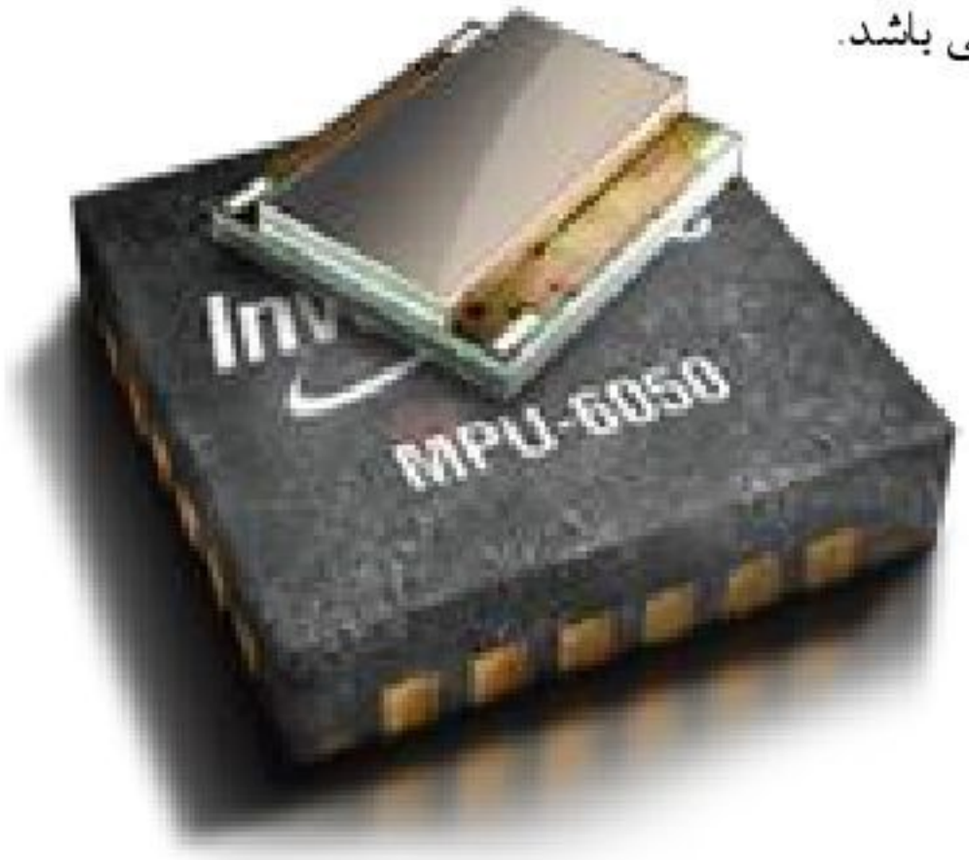
لذا این فیلتر در بسیاری از سیستم های نیازمند ترکیب داده از جمله رباتهای پرنده بدون سرنشین و ... استفاده می شود. در این پروژه نیز سعی شده است فیلتر ماهونی- مَدویک به خوبی پیاده سازی شده و از آن استفاده شود.

فصل پنجم

معرفی و راه اندازی MPU6050 (IMU 6-DOF)

MPU 60 50

تراشه MPU6050 محصول کارخانه InvenSense اولین تراشه ای در جهان است که دارای شتاب سنج، جایروسکوپ، دما سنج و ... در یک بسته بندی می باشد.

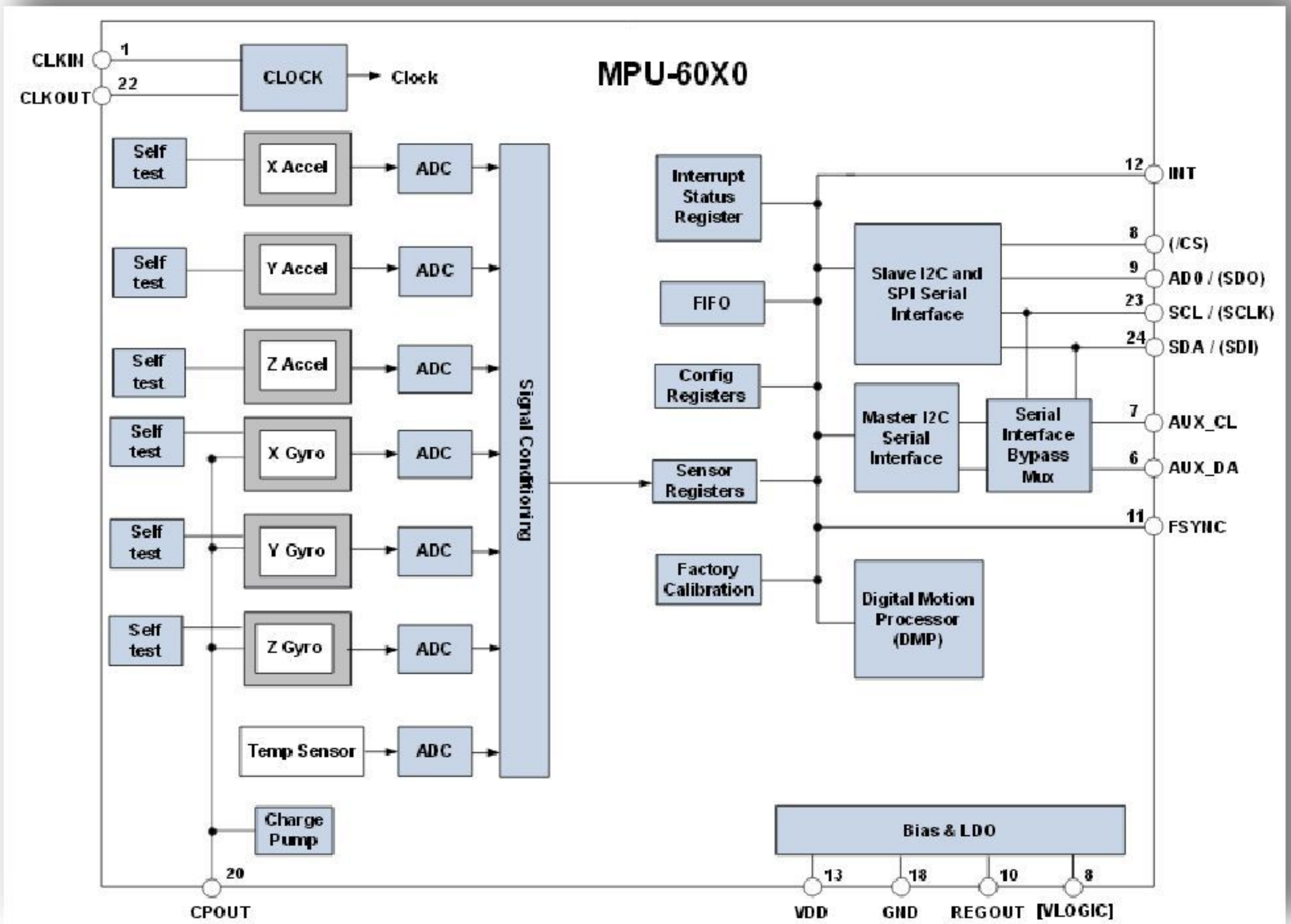


این تراشه که از نسل طلایی و پیشرفته جایروسکوپ ها و شتاب سنج های MEMS می باشد، از پروتکل ارتباطی I2C با حداکثر فرکانس 400KHz پشتیبانی می کند.

ویژگی ها و مشخصات MPU6050

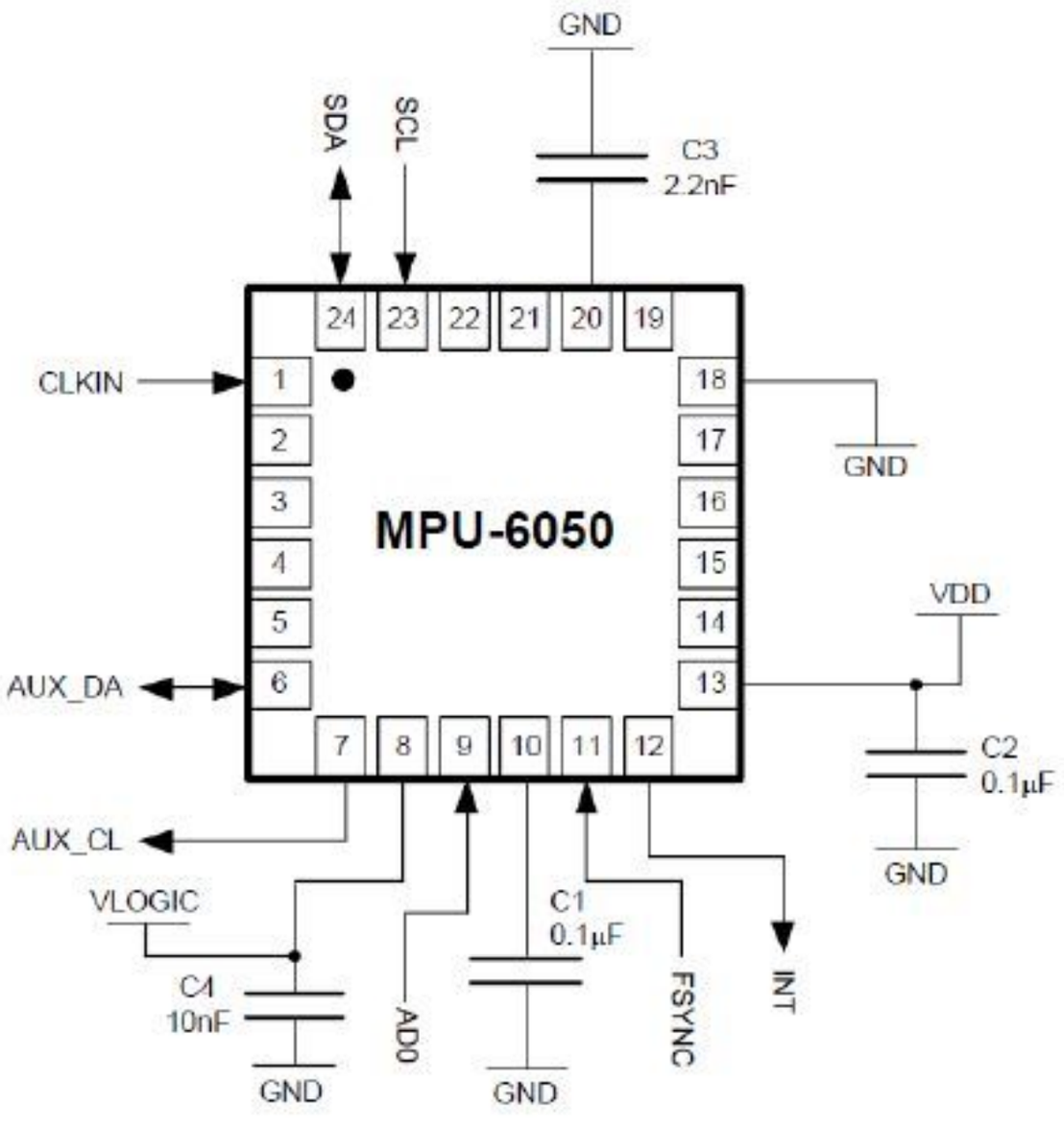
- سنسور جایرو سه محوره با دقت ۱۶بیت
- سنسور شتاب سه محوره با دقت ۱۶بیت
- سنسور دما با رنج اندازه گیری °۴۰- تا °۸۵+
- دارای بافر FIFO با ظرفیت ۱۰۲۴ بایت
- دارای موتور پردازشگر دیجیتالی حرکت
- بسته بندی QFN با ابعاد 4x4x0.9 mm
- دارای باس I2C کمکی(AUX I2C) برای اتصال قطب نمای خارجی
- رنج اندازه گیری مقیاس کامل ±2g, ±4g, ±8g و ±16g برای شتاب سنج
- رنج اندازه گیری مقیاس کامل ۲۵۰±, ۵۰۰±, ۱۰۰۰±و ۲۰۰۰± °/sec برای جایروسکوپ

بلوک دیاگرام داخلی MPU6050



اتصالات MPU6050

همان طور که قبلاً اشاره شد، تراشه MPU6050 در ماژول های مختلفی همچون GY87 و یا GY521 استفاده شده است، در هر کدام از این ماژول ها پین های کلیدی تراشه در دسترس هستند. هر کدام از پین های تراشه MPU6050 در جدول زیر ذکر شده و نحوه اتصال آن ها نیز بیان شده است:



MPU6050	شرح پین و نحوه اتصال
VDD	۳,۳ ولت
GND	زمین
SCL	خط سریال کلاک پروتکل I2C
SDA	خط سریال دیتا پروتکل I2C
XDA	خط سریال کلاک پروتکل I2C کمکی (جهت اتصال سنسور کمکی)
XCL	خط سریال دیتا پروتکل I2C کمکی (جهت اتصال سنسور کمکی)
AD0	بیت کم ارزش آدرس I2C برای Slave
INT	خروجی دیجیتالی وقفه

فصل ششم

نحوه ارتباط با PC

رابط پرسرعت بی سیم RF7020

چنانچه قصد دارید دستگاه یا ربات پرنده یا ربات زمینی خود را به صورت بیسیم از طریق لبتاپ، کامپیوتر، گوشی موبایل و ... کنترل کنید و یا می خواهید داده های سنسور های خود را در مکان های دیگر خوانده و به بدون اتصال هیچ گونه سیم و یا کابل به مرکز کنترل خود منتقل نمایید ، ماژول رادیویی فرستنده/گیرنده بی سیم سریال RF7020_v4 یک راه حل ساده و اقتصادی برای ایجاد یک ارتباط بیسیم برای انواع میکروکنترلرها و برد الکترونیکی آماده شما می باشد.

با توجه به وجود کانکتور SMA موجود بر روی ماژول امکان نصب آنتن 433MHz را فراهم می کند تا شعاع مسافت انتقال اطلاعات به حدود ۱ الی ۳ کیلومتر برسد. این در حالی است که ماژول بدون آنتن تا ۱۰ الی ۲۰ سانتی متر بیشتر کاربرد ندارد.

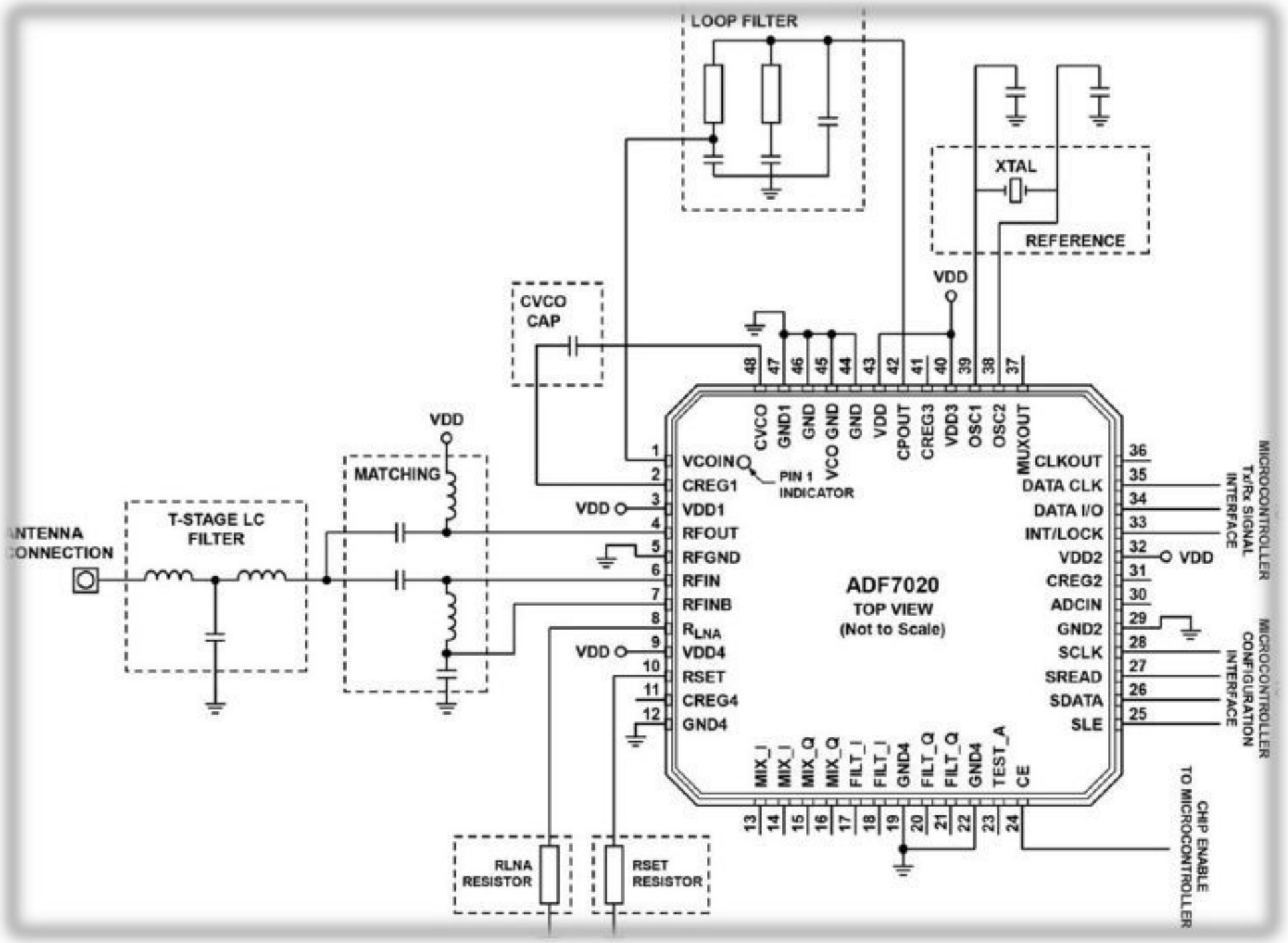
مشخصات ماژول:

- دارای چیپ ADF7020
- مدولاسیون GFSK با فرکانس کاری ۴۳۳ MHz
- قدرت خروجی 20dBm
- 256بایت بافر داده
- حساسیت بالا (112dbbm @ 9600bps)
- رابط UART/TTL
- watch dog داخلی
- تغذیه ۳،۳ الی ۵ ولت
- بسته بندی DIP به همراه کانکتور SMA
- اندازه: 38x19x7mm
- وزن ۵۰ گرم

کاربرد های ویژه ماژول RF7020:

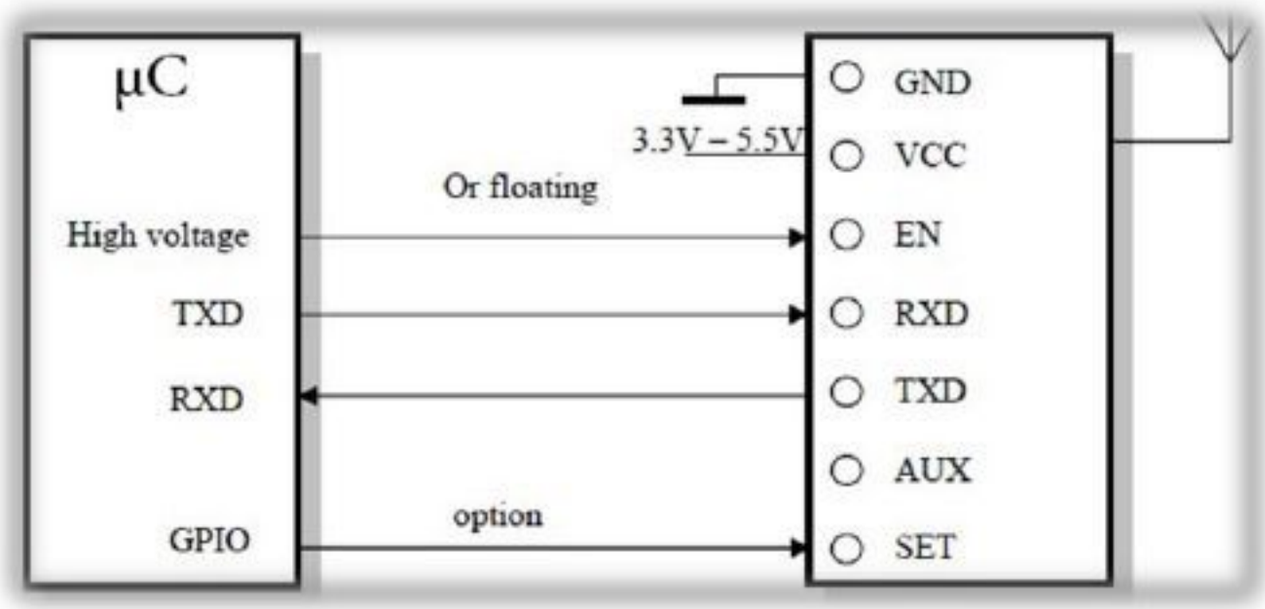
- اتوماسیون ، هوشمند سازی و کنترل منازل (BMS)
- سیستم های هشدار دهنده
- اندازه گیری از دور
- کنترل از راه دور
- هرگونه مصارف انتقال اطلاعات بی سیم ارزان قیمت

مدار داخلی ماژول RF7020:

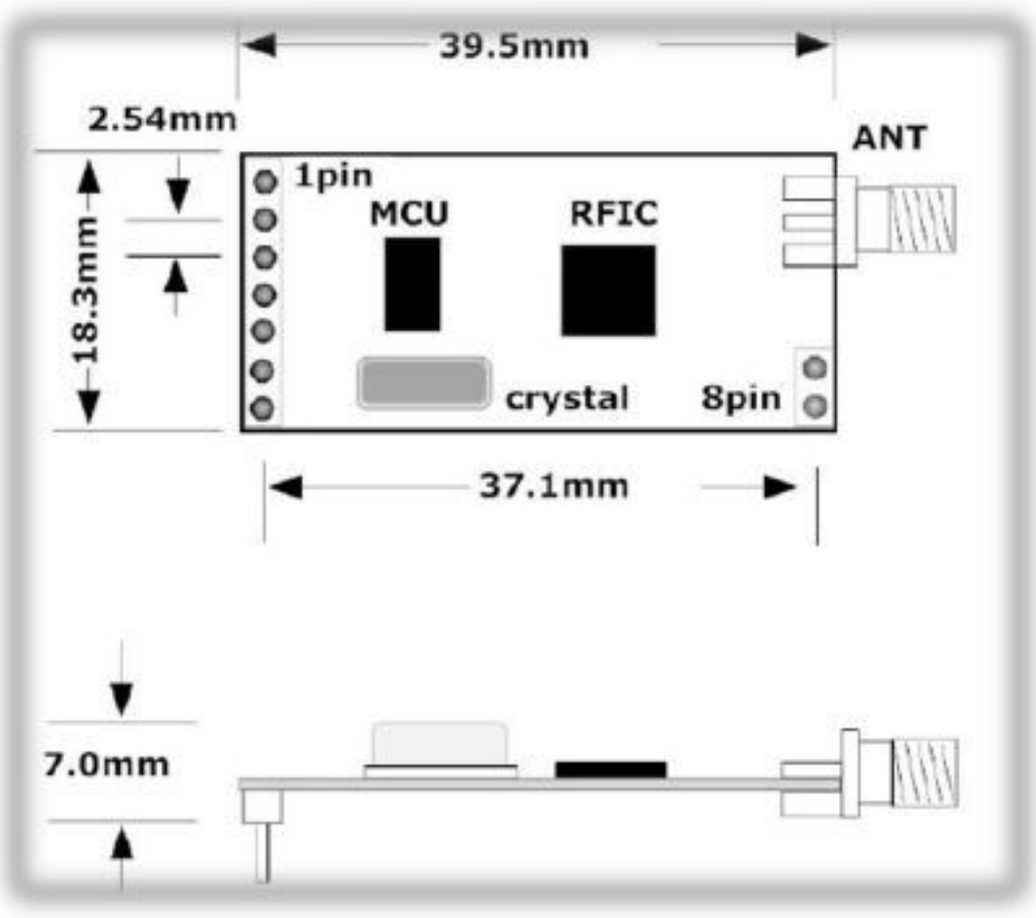


بلوک دیاگرام اتصالات ماژول RF7020 :

نحوه اتصالات این ماژول به هر دستگاه یا میکروکنترلری بسیار سهل و آسان است، این نیز یکی از مزیت های آن است. برای این کار کافیست بعد از اتصالات تغذیه ، خطوط TXD و RXD به صورت برعکس به میکروکنترلر متصل شوند. برای فعال یا غیرفعال کردن ماژول نیز پایه EN در ماژول باید ۱ یا صفر شود. برای ورود به بخش تنظیمات نیز باید پین Set تحریک شود. Aux نیز در تنظیمات ماژول نقش دارد.



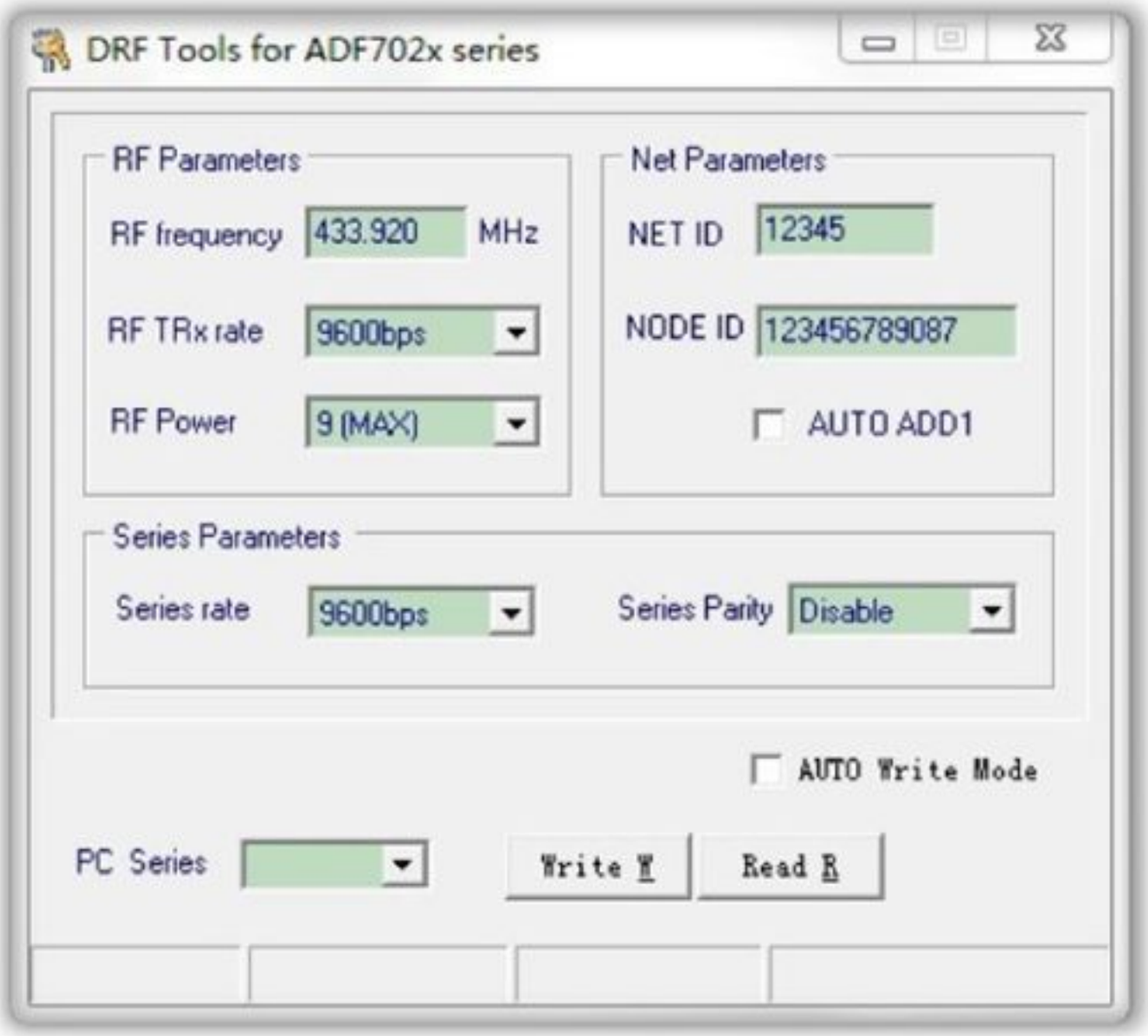
نمای فیزیکی ماژول RF7020 :



قابلیت ویژه این ماژول که در آن تراشه ADF7020 استفاده شده است، قابلیت تنظیم پارامترهای کلیدی همچون نرخ دیتا MCU وGFSK ، Parity ، فرکانس کاری ، قدرت خروجی و ... توسط یک نرم افزار بخصوص به نام Dorji RF Tool است.

تصاویری از پارامتر های قابل تنظیم و محیط نرم افزار را مشاهده می کنید:

Parameter	Option	Default Value	Unit
MCU data rate	1.2, 2.4, 4.8, 9.6, 19.2, 38.4, 57.6	9.6	Kbps
Parity Check	No check, Even parity, Odd parity	No check	
Frequency	418MHz ~ 455MHz (1KHz per step)	433.92	MHz
GFSK data rate	2.4, 4.8, 9.6, 19.2	9.6	Kbps
Output Power	0 ~ 9 levels	9 (20dBm)	



رابط سریال USB به TTL با تراشه PL2303

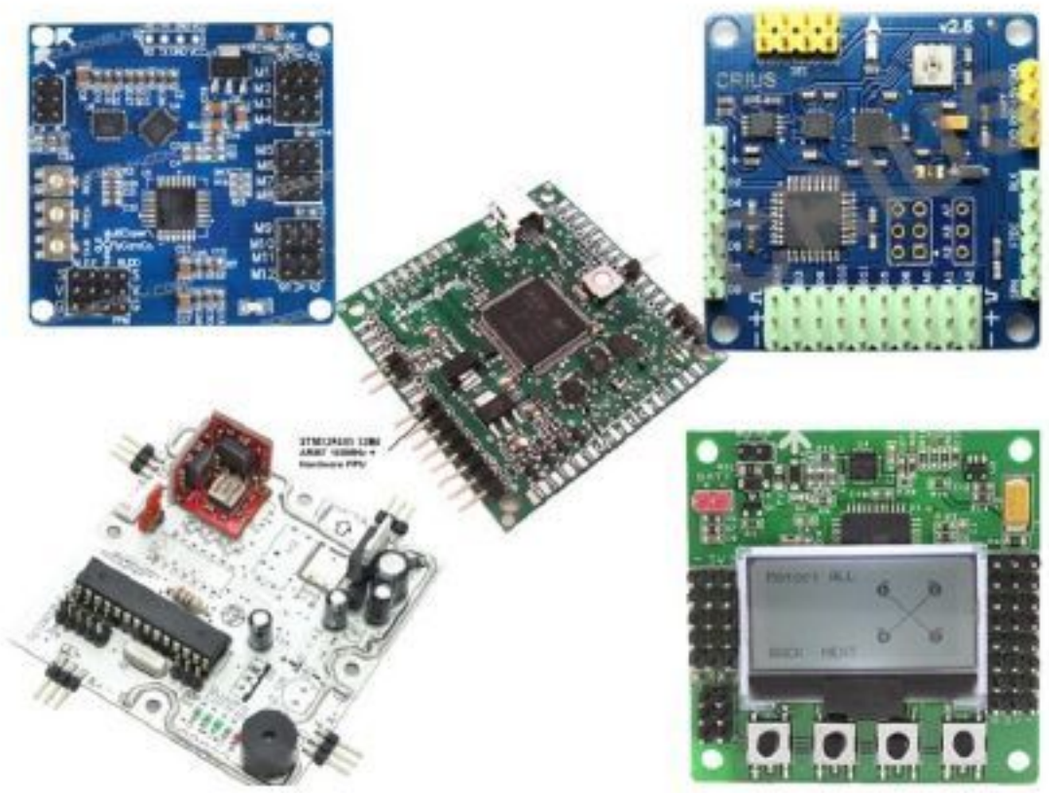
در صورتی که رایانه شما دارای پورت COM نباشد، به راحتی از طریق پورت USB می توانید با اتصال این ماژول به USB ، یک پورت سریال مجازی ایجاد کرد.

فصل هفتم

بهره گیری از یک IMU
در ساخت
برد کنترلی ربات های پرنده

فلایت کنترل ها در رباتهای پرنده

نمونه های زیادی Flight Control یا برد کنترلی و تعادلی رباتهای پرنده در بازار وجود دارد که همگی تولید شرکت های بزرگ اروپایی و آمریکایی است. از جمله ی معروف ترین آنها می توان به فلایت کنترل های KK ، MultiWii ، Naza ، Aq32 ، MWC و ... نام برد.



این فلایت کنترل ها که اغلب برای مصارف داخلی به کشور وارد می شوند ، قیمتی در حدود ۳۵ الی ۲۰۰ دلار دارند. بخش اساسی و غیر قابل انکار هر فلایت کنترلی ، بخش جایروسکوپ ها و شتاب سنج های آنهاست که موجب می شود یک IMU حداقل ۶ محوره تشکیل شود.

از آنجا که خدمات و پشتیبانی درستی در استفاده از این فلایت کنترل های خارجی در ایران صورت نمی گیرد و همچنین قیمت بالای آنها و دلایل متفرقه دیگر ، برآن شدیم که پروژه ای تحت عنوان فلایت کنترل ایرانی برای ربات های پرنده را آغاز کنیم.

البته این مقاله و پروژه تنها بخش کوچک اما کلیدی یک فلایت کنترل یعنی بخش IMU آن را پوشش داده است.

لذا با توجه به مطالب بیان شدن در فصول قبلی پروژه ای به صورت نمونه طراحی شد که در آن از میکروکنترلر AVR ، ماژول GY521(MPU6050) ، ماژول RF7020 و ... استفاده شده است.

طراحی و ساخت سخت افزار

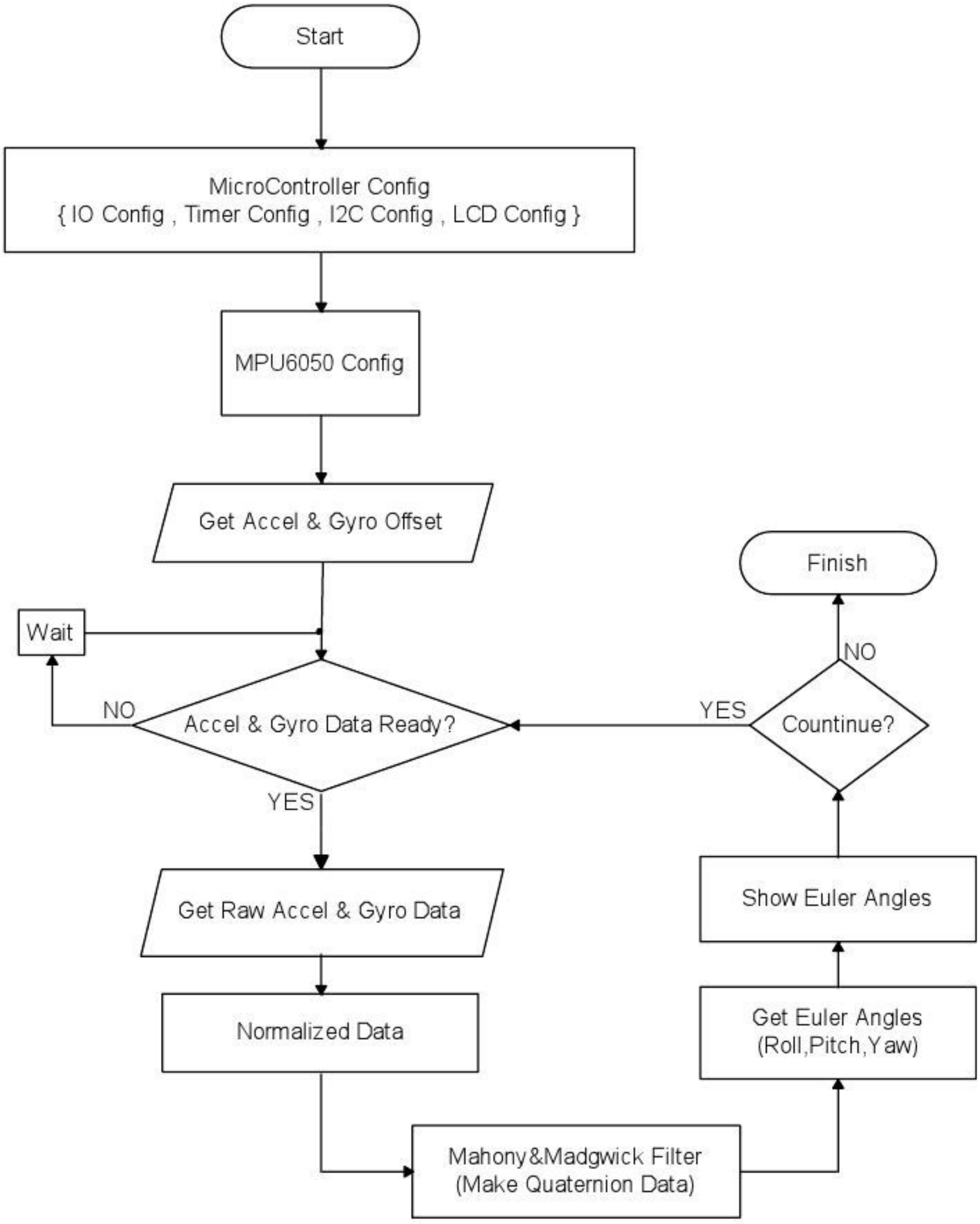
سخت افزاری که تصاویر آن را در زیر مشاهده می کنید، امکانات مشابه همه ی فلایت کنترلها را دارد، ولی این نسخه نمونه ی آزمایشگاهی می باشد. نکته ی قابل توجه این است که در این مقاله فقط به یک بخش فلایت کنترل یعنی بخش IMU اشاره شده است.

سوکت اتصال ماژول GY521 ، سوکت اتصال LCD ، سوکتهای اتصال رادیو کنترل ، سوکت اتصال مانیتورینگ بی سیم ، سوکت های اتصال به موتور براشلس و .... امکاناتی است که همه توسط یک میکروکنترلر AVR به نام ATmega128 مدیریت می شود.

قابل ذکر است که اغلب فلایت کنترل های خارجی قیمت های بالایی دارند که یکی از دلایل این قمیت بالا، استفاده از پردازنده های قوی و گران قیمت است. در این پروژه سعی بر این بوده که با بالابردن هوش و استفاده از الگوریتم بهینه توان پردازشی لازم را کاهش داده تا برنامه قابل پیاده سازی در یک میکروکنترلر ساده و ارزان قیمت باشد.

پروسه دستیابی به زوایای اویلر

فلوچارت دستیابی به زوایای کلیدی Roll ، Pitch و Yaw توسط یک IMU در زیر قابل مشاهده است:



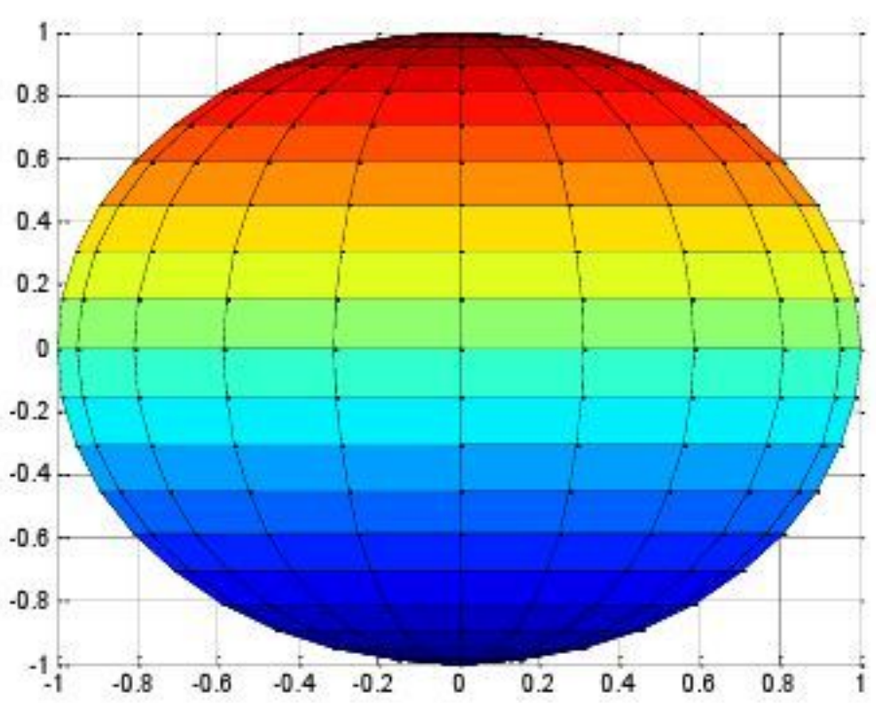
فصل هشتم

نمایش گرافیکی زوایای اویلر

کد متلب برای نمایش گرافیکی زوایای کلیدی:

برای نمایش گرافیکی تغییرات زوایای Roll ، Pitch و Yaw از نرم افزار متلب استفاده شده است که کدهای مرتبط با آن در یک m فایل به شرح زیر است:

```
SP=serial('COM3','BaudRate',9600,'DataBits',8,'Stopbits',1,'Terminator','CR')
fopen(SP);
 RPY_c = str2num(fscanf(SP,'%s %s %s'));
 for frame=1:1:2000
%Read Data;
RPY = str2num(fscanf(SP,'%s %s %s'))
%Visualize Data On Sphere Or any Other Objects
[x,y,z] = sphere;
h = surf(x,y,z);
axis('square');
title('RoboticNGO.com')
xlabel('x'); ylabel('y'); zlabel('z');
%Rotate Object
rotate(h,[1,0,0],(RPY(1)-RPY_c(1))*180/pi)
rotate(h,[0,1,0],(RPY(2)-RPY_c(2))*180/pi)
rotate(h,[0,0,1],(RPY(3)-RPY_c(3))*180/pi+90)
view(0,0);
drawnow
end
```



توسط کد فوق ابتدا بستر پورت سریال برای نرم افزار متلب فراهم و پیکربندی لازمه صورت می گیرد، سپس اطلاعات سه زاویه کلیدی که توسط پردازنده ی اصلی(AVR) در محیط سریال ارسال شده است، دریافت می شود و به میزان تغییرات صورت گرفته ، عملیات چرخش در هر محور بر روی گوی رنگی اعمال می گردد.

نتیجه گیری:

توانایی ساخت انواع بردهای کنترلی برای دستگاه ها و ربات های مختلف از جمله رباتهای پرنده بدون سرنشین با وجود کامل نبودن علوم و تکنولوژی مورد نیاز، در داخل کشور وجود دارد؛ لذا با اندکی پشتکار و مطالعه ی دقیق مراجع می توان به این مهم دست یافت.

بخش اساسی این پروژه راه اندازی یک IMU حداقل ۶ محوره بوده است لذا فیلترهای ترکیب داده ی متعددی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتیجه این شد که جدید ترین و بهینه ترین فیلتر ، فیلتر Madgwick می باشد. اگرچه با وجود شتاب سنج و جایروسکوپ کیفیت مطلوب حاصل می شود ولی این فیلتر هنوز قابلیت گسترش را دارد و از آنجا که یک IMU قوی باید دارای درجه آزادی بیشتری باشد، توصیه می شود که فیلتر با اضافه کردن قطبنما یا فشارسنج به ۹ یا ۱۰ محور ارتقا یابد.

مراجع:

سایت آلمانی هنر و صنعت OlliW

Www.olliw.eu/2013/imu-data-fusing/

An Introduction to the Kalman Filter

توسط Gary Bishop و Greg Welch

Complementary filter design on the special orthogonal group SO(3)

توسط Robert Mahony ، Tarek Hamelو Jean-Michel Pflimlin

ویکی پدیا

http://en.wikipedia.org/wiki/Attitude_and_heading_reference_system

مقاله Sensor Fusion Using Complementary Filter

توسط احمد امیری وجدان

سایت رسمی پژوهشگران الکترونیک و رباتیک

Www.RoboticNGO.com

تالارگفتمان فنی و مهندسی ECA

Www.ECA.ir/Forum2/