



AÇISAL HIZ VE İVME ÖLÇÜMÜ

DR. ÖĞR. ÜYESİ HAKAN YÜKSEL

AÇISAL HIZIN ÖLÇÜMÜ

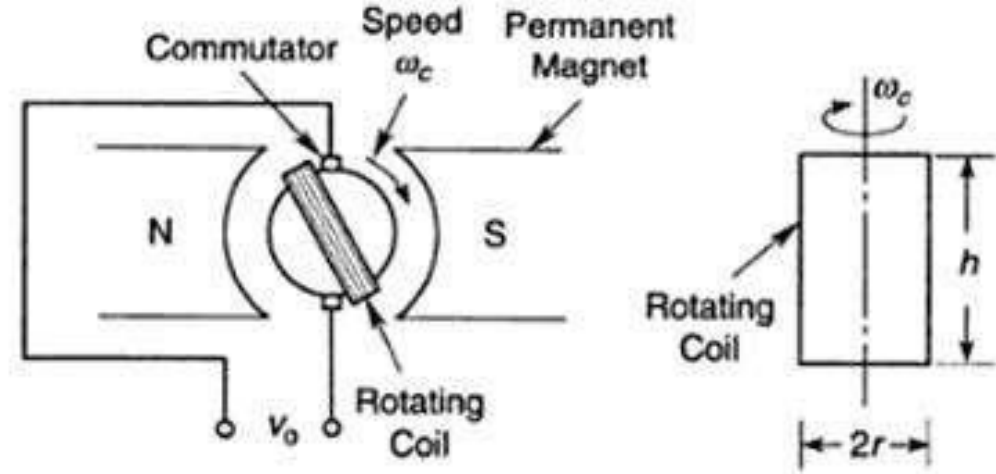
- Açısal hız, açısal yer değıştirmenin değışim hızıdır. Birim zamandaki radyan veya birim zamandaki dönüş sayısı olarak ölçölür. Kontrol sistemlerinde açısal hız ölçölümü doğrusal hız ölçölülerinden daha fazla yapılır. Döner makinelerin açısal hızını ölçmek için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bunlar analog ve sayısal olmak üzere sınıflandırılabilirler. Analog yöntemlerde hızölçerin çıkışı bir analog gerilim ya da mekanik yer değıştirme hareketidir. Sayısal yöntemlerde ise çıkış frekansı açısal hız ile orantılı kare dalgadır.

TAKOMETRELER

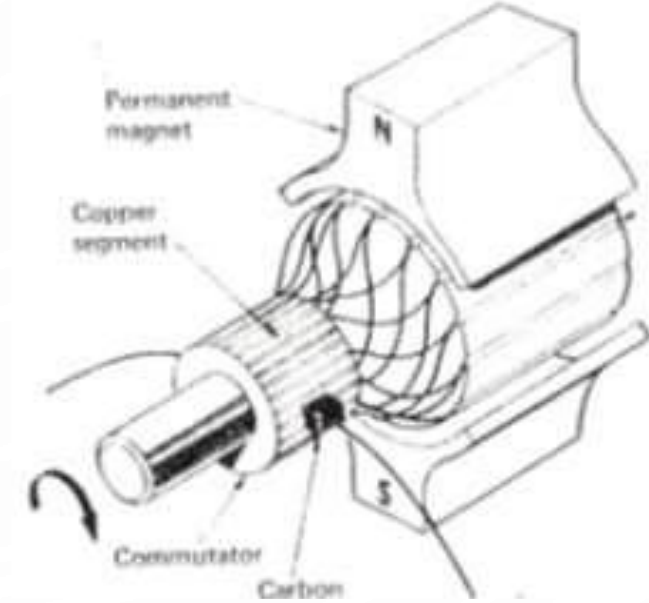
- **Analog Yöntemler**
- Analog yöntemlerde çıkış sinyalinin türüne göre d.c. takojeneratör, a.c. sabit mıknatıslı ve a.c. endüksiyon takojeneratörler bulunmaktadır. Mekanik çıkışlı olan takometre ise, sürüklenme kupası (drag-cup tachometer) ya da eddy akım takometre olarak adlandırılmaktadır.

DC TAKOMETRELER

- Bir takometre açısal hızın ölçülmesinde kullanılan bir elektrik üreticidir. Bir fırça tipi d.c. takometre Şekil'de gösterilmiştir. Bobin armatür (endüvi) denilen bir metal silindir üzerine yerleştirilmiştir. Endüvi iki sabit mıknatıs alan kutupları tarafından üretilen manyetik alan içinde serbestçe dönmektedir. Bobinin iki ucu komütatör (kollektör) denilen parçalı bir bağlantı halkasının zıt yarıklarına bağlanmıştır. Endüvideki her bir bobin için komütatör üzerinde iki kısım vardır (Şekil'de bunlardan yalnızca biri gösterilmiştir). Örneğin 11 bobinli bir endüvi 22 kısımlı bir komütatöre sahiptir.

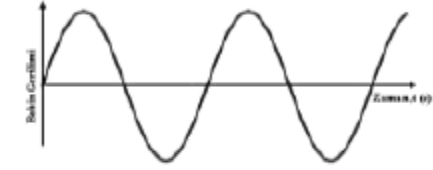
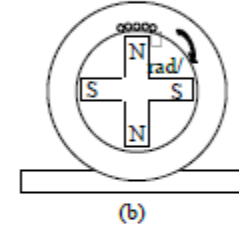
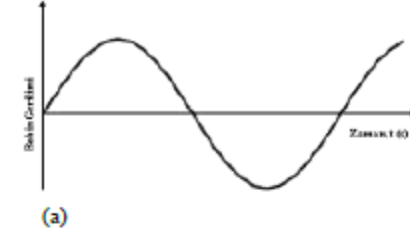
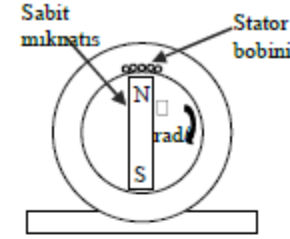


- Şekil’de d.c. sabit mıknatıs takı jeneratörde yay yüklemeli karbon fırçalarla temas eden yalıtımlı bakır segmanlara bağlı rotor sarımlarının (endüvi) iletkenleri gösterilmiştir. İki tane karbon fırça bobin uçlarını komütatör kısımlarına bağlamaktadır. Bu komütatör aracılığıyla yapılan işlem aslında her zaman aynı konumda olan iletkenlerle çıkış terminallerinin temasını sağlamaktır. Fırçalar ve komütatör bobin bağlantılarını endüvinin her bir 180’lik dönüşü için bir defa ters çeviren anahtar gibi çalışmaktadır. Dolayısıyla, bu anahtarlama işlemi hareketi dönen bobinde endüklenen a.c. gerilimi bir d.c. gerilime çevirir. Diğer bir deyişle, komütatör ve fırça bir a.c./d.c. çevirici görevini görür.

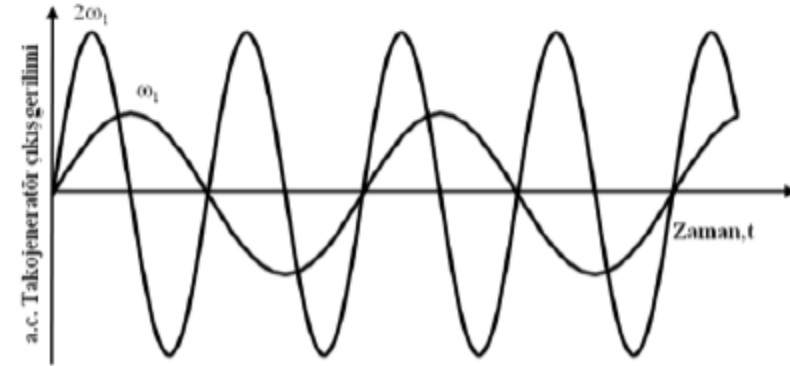


AC TAKOMETRELER

- Bir a.c. takometre çıkışında üç fazlı doğrultucu olan üç fazlı bir elektrik üreticidir. Şekil 'de büyüklüğü mıknatısın açısal hızına bağlı olan bir gerilim endükleyen stator bobin içinde dönen sabit mıknatıslı bir takojeneratör görülmektedir. Şekil'de ise kutup sayısı bir öncekinin iki katı olan bir a.c. takojeneratörün çıkış genliği sabit iken frekansının iki katı olduğu görülmektedir. Hız değiştikçe gerilimin frekansı da değişecektir ve bu da Şekil 9.4'te görülmektedir (hızlardan birinin frekansı diğerinin iki katıdır). Daha yüksek hızda, hem büyüklük hem de düşük hızdakinin iki katıdır.



(b) Sabit mıknatıs a.c. takojeneratör ve dalga şekilleri



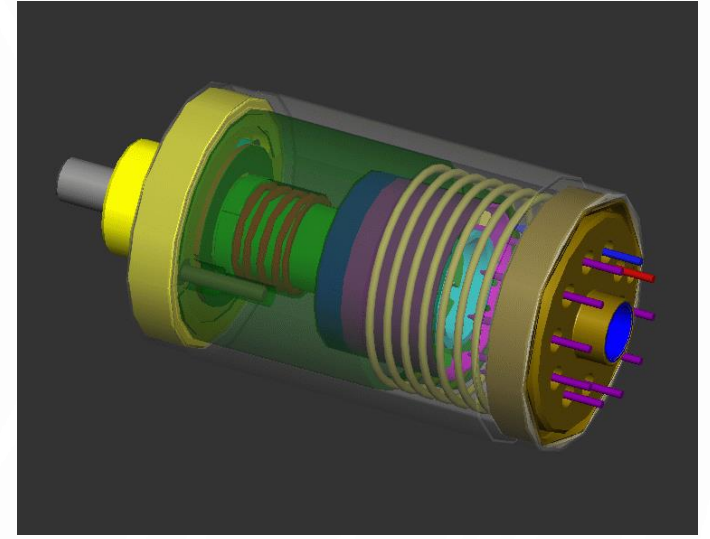
- Bu frekans değişimi empedansı veya bir a.c. devredeki akıma karşı gösterilen zorluğu etkiler ve çıkış akımı/giriş hızı ilişkisinde doğrusal olmayan bir özellik gösterir. Bu etki frekansla değişmeyen büyük bir seri direncin devreye eklenmesiyle azaltılabilir. Ancak duyarlılıkta bir azalma olacaktır.

DİNAMİK ÖLÇÜMLER İÇİN ALGILAYICILAR

- İvme
- Fizikte hızın zamana göre değişme miktarı veya hızın zamana göre türevine eşit olan nicelikdir. Vektörel bir nicelik olup, cismin hem yönünün hem de hızının zamana göre değişimini verir. $a=F/m$ ifadesi ile elde edilir. Formüldeki F hareket yönünde uygulanan kuvvet, m ise cismin sahip olduğu kütledir. Burada F vektörel bir nicelik olup, m gibi skaler bir niceliğe bölündüğünde, vektörel bir nicelik olan a ifadesi meydana gelmektedir.

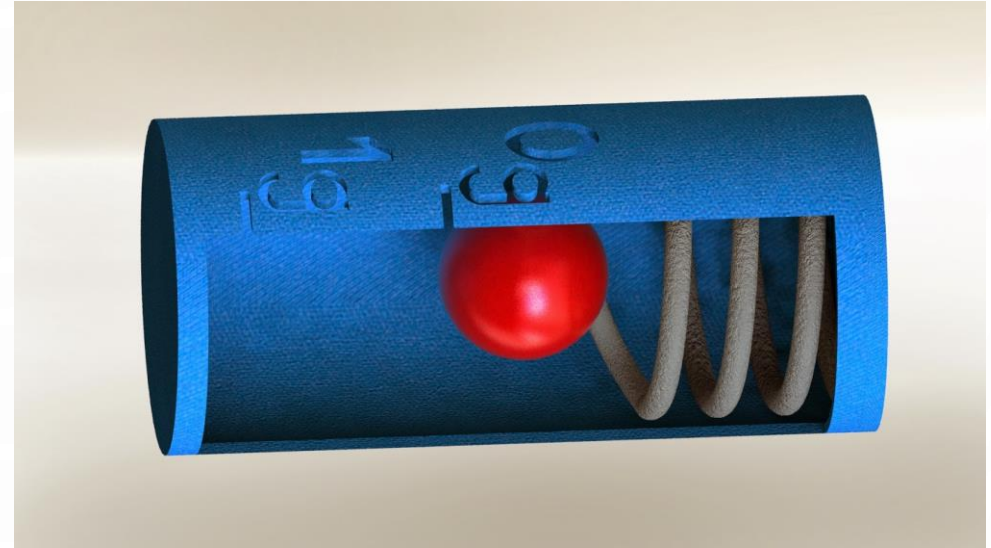
• İvmeölçer

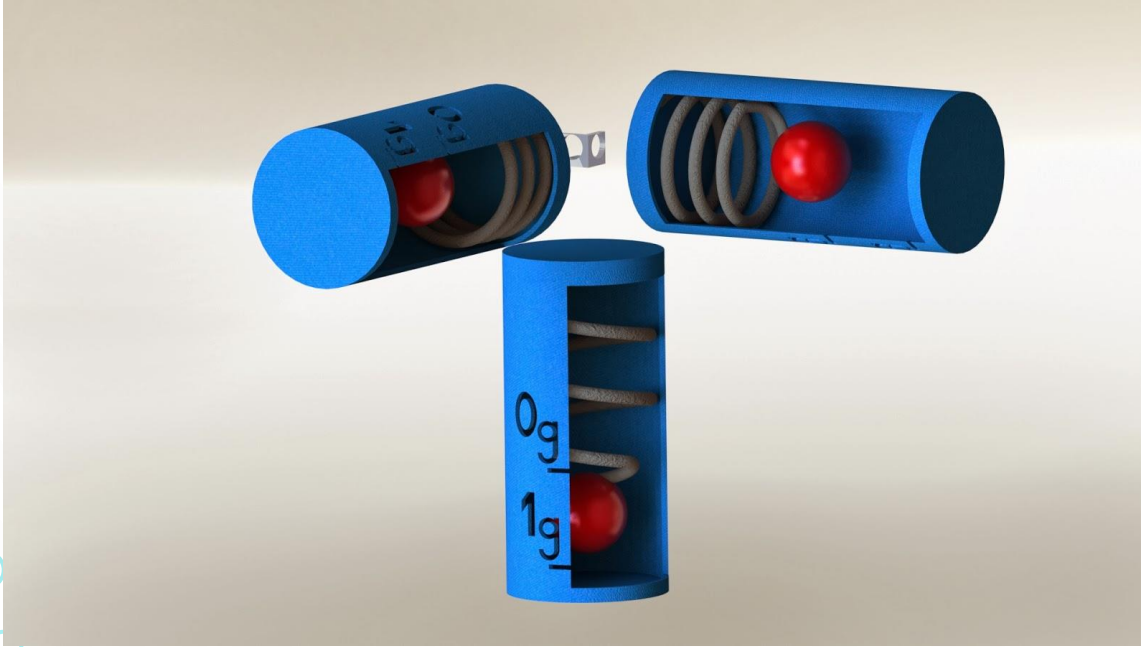
- Bir kütlenin sahip olduğu ivmeyi ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Bunu yaparken, içerisinde bulunan konumlandırılmış kütlenin, değişken **konumundan** faydalanarak; sonuç elde edilir. Yani; bu kütlelerin dik konumunu referans olarak kabul ederek, oluşan değişiklikleri bu referans noktalarıyla kıyaslayarak bulabilir.





- Görüldüğü gibi, kütle ivme kılavuzunun içerisinde yatay olarak konumlandırılmıştır. Başlangıç noktası 0 gram olarak belirlenmiş olup, kıyaslamaları 0 grama göre yapmaktadır. Bu kılavuz dikey olarak konumlandırıldığında ise, kütlenin konumu 1 grama gelmektedir. Çünkü içerisindeki kütle yatay olarak 9.86 m/s^2 'ye eşit bir ivmeyle hareket ettirilseydi, 1 gram noktasına denk gelecek şekilde kütle konumlanacaktır. Burada dikey olarak kütleye etki eden yerçekimi etkisiyle, yatayda görülen etki dikeyde de geçerli olacaktır.



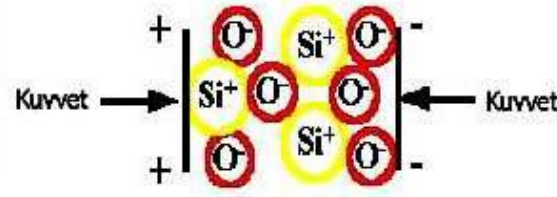


- Burada ele alınan ivmeölçer bu eksenlerin birleşmesiyle hareketi kontrol etmektedir. Bilindiği gibi, bu sensörler tek yönlü ölçüm yapmaktadır. Bu nedenle, 3 adet sensör birleşerek 3 boyutta hareketi kontrol edebilir. Bu 3 eksen ise; x , y , z olarak isimlendirilirse, bu şekilde gösterimle koordinat sistemi oluşmuş olur. Böylece, sistem oluşacak ivme değişikliklerini her yönde kontrol edebilecektir.

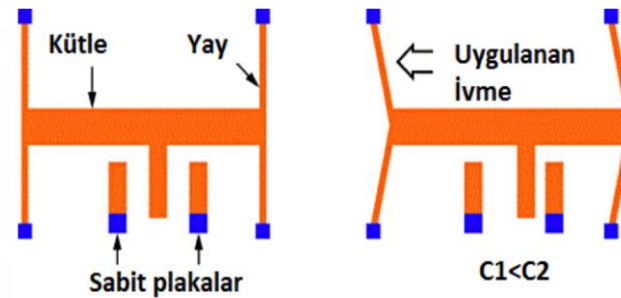
•

- İvmeölçer birçok alanda kullanılabilmektedir. Yüksek hassasiyete sahip ivmeölçerler füze, uçak, gemi ve denizaltılarının navigasyon sistemlerinde kullanılan en önemli parçalardan birini oluşturmaktadır. Ayrıca cihazın içerisindeki titreşimi kontrol edip, bu titreşimin istenilen aralıkta olup olmadığını kontrol eder. Tablet bilgisayar ve dijital kameralarda titreşimi engelleyici sistemlerde aktif olarak kullanılmaktadır.

- İvmeölçerler farklı yöntemlerle çalışmaktadır. Bunların en yaygın olarak kullanılanları piezoelektrik ve kapasitif ivmeölçerlerdir. Piezoelektrik ivmeölçerler içerisindeki mikroskobik kristaller maruz kaldıkları stres sonucunda orantılı olarak gerilim üretir. Üretilen bu gerilim değeri, önceden tanımlanmış olan gerilim değeri ile kıyaslanır ve ivmenin etkisi bulunmuş olur.



- Diğer bir tip ise kapasitif ivmeölçerlerdir. Birbirine yakın iki paralel levha arasında kapasitif etki oluşur ve kapasitans değeri ortaya çıkar. Bu tip ivmeölçerlerde kapasitif iletim prensibi kullanılmıştır. Bir ivme uygulandığında sabit elektrot ve hareketli elektrot arasındaki mesafe değişecek, bu sayede kapasite değerinin de değişmesi sağlanacaktır. Sonuç olarak ivme ile ilintili bir çıkış değeri elde edilecektir.



İVME SENSÖRÜ SEÇİMİ

- İvme sensörlerinin analog ve sayısal çıkış veren tipleri bulunmaktadır. Analog çıkışlı ivme sensörleri ivme değerine bağlı olarak sürekli bir gerilim verirler. Sayısal ivme sensörleri çıkış için çeşitli arayüzleri destekleyen (I2C, SPI, UART, vs...) modelleri olduğu gibi modüle edilmiş şekilde çıkış veren (örn PWM) modelleri de mevcuttur. İvme sensörü seçerken aşağıdaki özellikler göz önünde bulundurulmalıdır.

- Eksen sayısı: Birçok proje için 2 eksenli ivme sensörü yeterli olmaktadır. Fakat 3 boyutlu pozisyon isteniyorsa 3 eksenli ya da doğru açılarda yerleştirilmiş 2 eksenli ivme sensörleri kullanılabilir.
- Maximum salınma: Yerçekimi ivmesini kullanarak yalnızca eğim ölçülmek isteniyorsa +1,5g lik ivme sensörü yeterli olur. Eğer araba, uçak ya da robotun hareketi saptanmak isteniyorsa +10 lik bir sensör yeterli olacaktır. Ani başlangıçlar ya da durmaların olduğu projelerde +300 ye kadarlık sensörlere ihtiyaç duyulabilir..
- Hassaslık: İvmenin hassas ölçümü işaretle daha büyük değişimlerin olmasını sağlar. Daha büyük sinyal değişimleri ölçümü kolaylaştırarak doğru sonuçlar meydana getirir.
- Bant genişliği: Yavaş eğimli hareketleri algılama uygulamalarında 50 Hz yeterli olmaktadır. Titreşim ölçümü yapılıyorsa ya da hızlı hareket eden bir makine kontrol ediliyorsa bant genişliğinin yüksek olması gerekir. MEMs yapıdaki ivme sensörleri genelde 100- 500Hz band genişliğine sahiptir.
- Empedans/Bufferlama: Bir çok ADC'nin düzgün çalışabilmesi için bağlanan elemanın çıkış empedansının 10 k Ω un altında olması gerektiği belirtilmektedir. Bazı üreticilerin analog ivme sensörleri 32 k Ω luk bir çıkış empedansına sahiptir. Bunun çözümü çıkış empedansını düşürmek için bir 'düşük giriş ofseti bulunan rail to rail op amp' ını buffer olarak kullanmaktır.

İVME SENSÖRÜ UYGULAMA ALANLARI

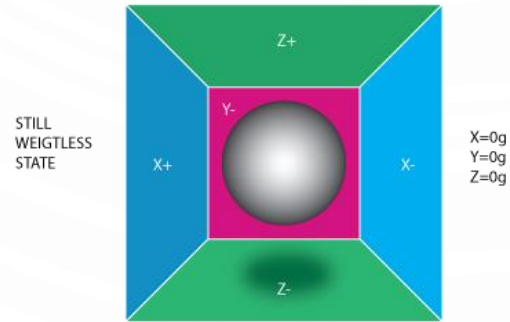
- • İnsan-makine ara yüzleri
- • Navigasyon sistemleri
- • Çalınmaya karşı korunma sistemleri
- • Makine kontrolü
- • İnteraktif eğlence
- • Remote kontrol Spor ve sağlık kontrol sistemleri
- • Pusula kompanzasyonu
- • Otomotiv de çarpma ve süspansiyon kontrol sistemleri
- • GPS uygulamaları
- • Düşme algılama
- • HDD koruma sistemleri
- • Görüntü stabilizasyonu
- • Hareket kontrol uygulamaları
- • Portatif elektronik ürünler
- • Robot uygulamaları
- • Sismik görüntüleme sistemleri
- • Kargo taşımacılığında paket güvenliği ve takibi
- • Araç dinamik kontrol uygulamaları

ACCELEROMETER

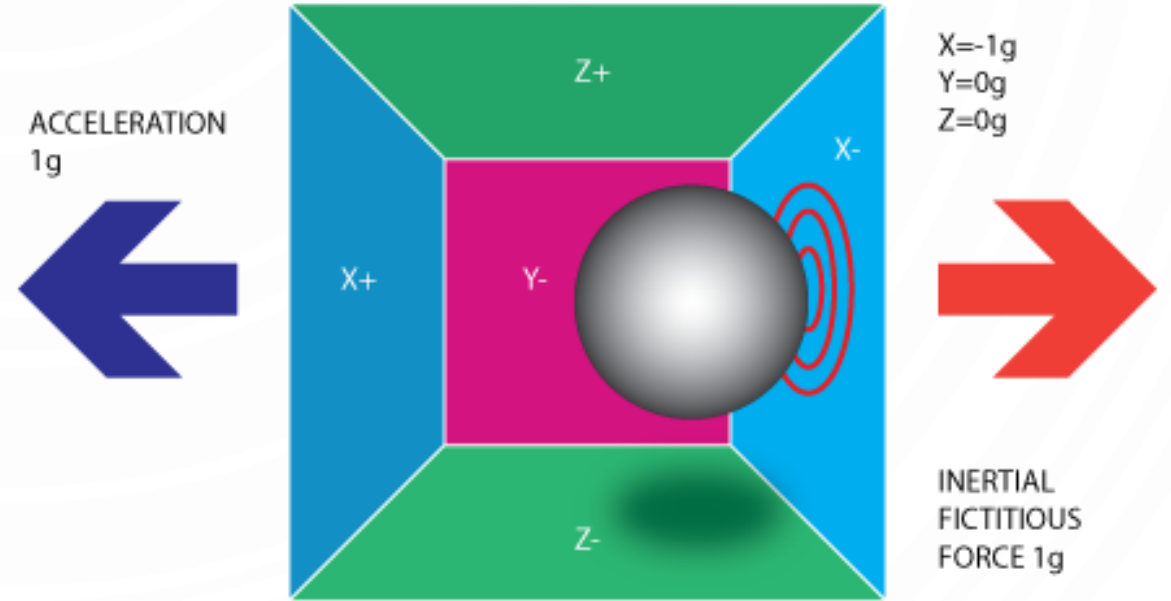
- Accelerometerlar üzerlerine düşen statik(yerçekimi) veya dinamik (aniden hızlanma veya durma) ivmeyi ölçmektedirler. Sensörden aldığımız değer m/s^2 veya yer çekimi (g-Force) türünden ifade edilebilir. Uygulamalarda genelde yerçekimi türünden ifade edilmektedir. Eğer uzayda veya herhangi bir çekim alanının kapsamında değilseniz sensör üzerine 1g lik bir yerçekimi kuvveti etki etmektedir. Buda hepinizin bildiği gibi yaklaşık olarak $9.8m/s^2$ dir ve dünyadaki bulunduğunuz noktaya göre değişiklik göstermektedir. Sensör sürekli olarak yer çekimi etkisi altında kaldığından eğim ölçer (örneğin yeni nesil akıllı cep telefonlarında kullanılmaktadır ve siz telefonu dikey veya yatay konuma getirdiğinizde telefonun ekranı hareketinize göre değişmektedir) veya hareket algılayıcı (nintendo wii gibi ürünlerde elinizi salladığınızda oyundaki karakterlerde benzeri bir hareket yapar) olarak kullanılabilir. Ölçü skalası olarak $\pm 1g$, $\pm 2g$, $\pm 4g$... gibi değerler ile ifade edilmektedir ve bir, iki ve üç eksenle ölçüm yapabilen türleri vardır.

ACCELEROMETER ÖRNEK

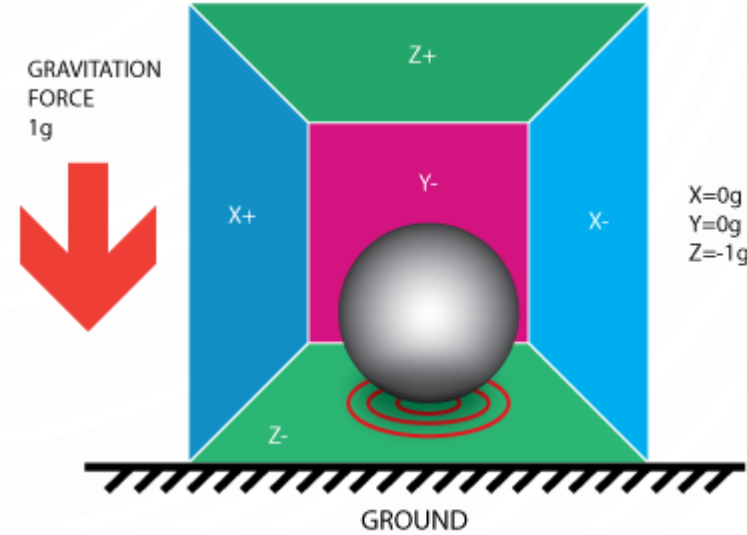
- Uzayda herhangi bir çekim etkisi yok ve ağırlığımız 0 dır. Önümüzde de aşağıdaki şekildeki gibi bir kutu, kutunun ortasında da bir küre olduğunu hayal edin. Herhangi bir çekim etkisi olmadığından küre herhangi bir yüzeye temas etmeden hareketsiz bir şekilde durmaktadır. Kürenin hareketini görebilmek için kutunun +Y yönünde kalan yüzeyini de kesip atalım.



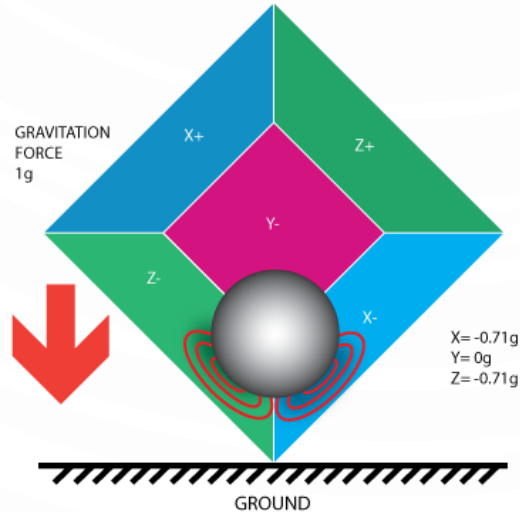
- Kutuyu elinizde tutup +X yönünde 1g kuvveti ile hızlandırdığımızda küre kutunun -X yüzeyine eylemsizlikten dolayı 1g lik bir kuvvet uygulayacaktır.

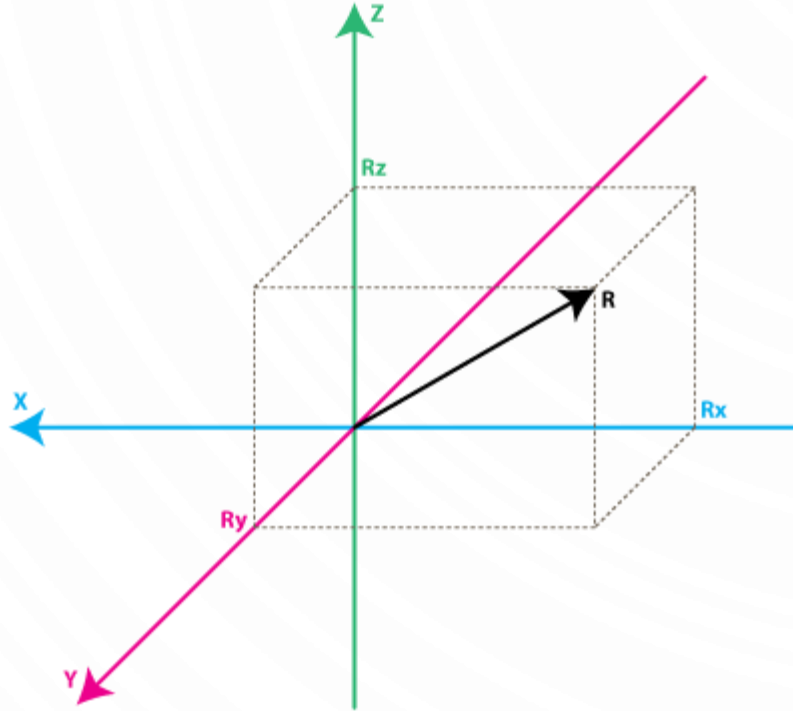


- Şimdi kutumuzu alıp dünyaya dönelim. Kutuyu yere koyduğumuzda dünyamızın 1 g lik yer çekimi kuvvetinden dolayı küre $-Z$ yüzeyine 1 g kuvvet uygular.



- İvmeölçerlerde benzer bir şekilde çalışmaktadır. Yüzeyleri basınca ([piezoelektrik](#) olabilir) veya manyetik alana tepki verecek şekilde yapılmaktadır ve ivmeölçerde bu tepkiyi ölçerek bize bir değer vermektedir. Sensörün yer yüzü ile yaptığı açı değiştiğinde sensörün eksenlerine uygulanan kuvvette değişecektir ve bizde yeni değerleri okuyarak yeryüzü ile yaptığımız açıyı trigonometri yardımıyla hesaplarız. Örneğin kutumuzu 45 derece sağa doğru çevirdiğimizi düşünelim. Bu durumda kürenin $-X$ ve $-Z$ yüzeylerine kök içinde $\frac{1}{2}$ lik bir kuvvet uygulanır oda 0,707g ye eşittir.





- Burada R vektörü ivmeölçerimiz üzerine düşen kuvvet vektörü olsun. Bu kuvvet yukarda anlattığımız gibi yerçekimi veya sensörün hareketi sonucu yerçekimi kuvveti ile eylemsizlik kuvvetinin bileşkesi olabilir. R vektörünün 3 bileşeni vardır ve $R=[R_x, R_y, R_z]$ olarak ifade edilmektedir. Pisagor teoreminden R vektörünü bu bileşenlerden aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz.

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2 + R_z^2$$

R_x , R_y ve R_z bileşenlerini bildiğimiz taktirde yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi trigonometrik fonksiyonlar yardımı ile R vektörünün X ve Y eksenleri ile yaptığı açıları hesaplayıp sensörümüzün yeryüzüne göre konumunu bulabiliriz. R vektörünün bileşenlerindeki bize ivme ölçer g kuvveti türünden vermektedir. Şimdi bir örnek yapıp konuyu anlayalım.

- Analog sensör kullandığımızı, besleme gerilimizin 3v3 olduğunu ve 10 bitlik bir ADC kullandığımızı varsayalım. Accelerometerdan ADC yardımı ile aşağıdaki binary değerleri okuduğumuzu varsayalım. Bu değerler ile işlem yapabilmek için g türünden ifade edebilmemiz gerekmektedir. Bunun içinde ADC den okuduğumuz değerleri voltaj türünden ifade etmeli ve kullandığımız sensörün datasheetinden faydalanarak bu voltaj değerlerini g kuvveti türünden ifade etmemiz gerekmektedir. Böylece elde ettiğimiz değerleri trigonometrik fonksiyonlar ile açıya çevirebiliriz.

$$\text{AdcRx} = 586$$

$$\text{AdcRy} = 630$$

$$\text{AdcRz} = 561$$

- Bu değerler ham binary değerlerdir ve volt türünden ifade edebilmek için LSB başına düşen gerilim miktarı ile çarpmamız gerekmektedir. Besleme 3V3 olduğundan ve 10bit ADC kullandığımızdan yukarıdaki değerleri $3.3V / 2^{10}$ ile çarparsak volt değerlerini elde ederiz.

$$\text{VoltsRx} = 586 * 3.3V / 1023 \approx 1.89V$$

$$\text{VoltsRy} = 630 * 3.3V / 1023 \approx 2.03V$$

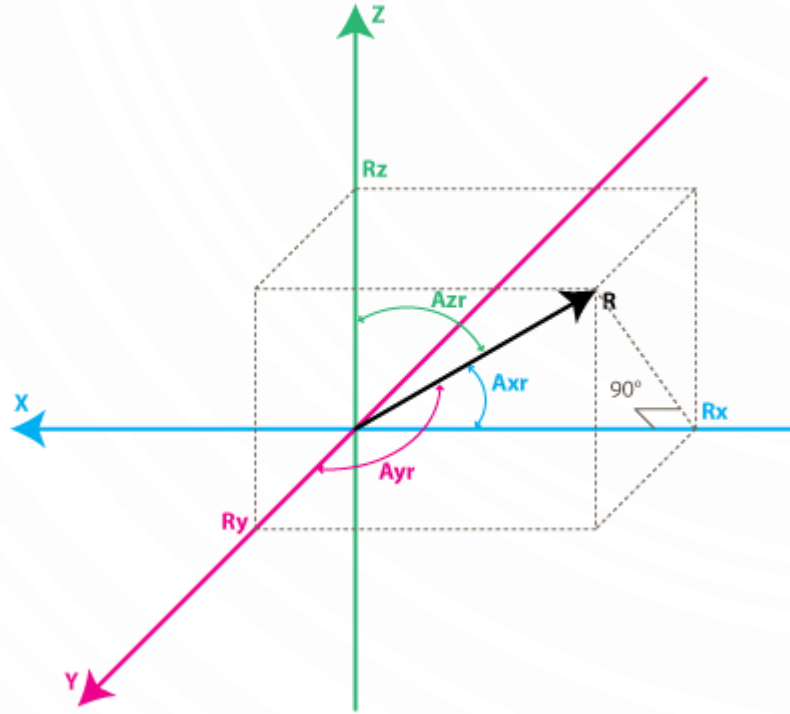
$$\text{VoltsRz} = 561 * 3.3V / 1023 \approx 1.81V$$

- Bu değerleride g türünde ifade etmemiz gerekmektedir. Her ivmeölçerin 0g de vermiş olduğu bir gerilim değeri vardır ve Zero-G değeri olarak isimlendirilmektedir. Bu değer genelde $V_{dd}/2$ dir (bizim örneğimizde $3.3/2=1.65V$. Kullandığınız sensörün datasheetinden bakabilirsiniz. Yukarıdaki voltaj değerlerinden bu değeri çıkartıp sensörün hassasiyeti ile çarparsak hangi eksene ne kadar kuvvet uygulandığını bulabiliriz. Sensör hassasiyetide $0.4785V/g$ olsun. O halde tam denklemimiz aşağıdaki gibi olur ve yukarıdaki değerleri denklemde yerine koyarsak eksenlere uygulanan kuvvetleri bulabiliriz.

$$R_x = (AdcR_x * V_{ref} / 1023 - V_{zeroG}) / Sensitivity = (586 * 3.3V / 1023 - 1.65V) / 0.4785V/g \approx 0.5g$$

$$R_y = (AdcR_y * V_{ref} / 1023 - V_{zeroG}) / Sensitivity = (630 * 3.3V / 1023 - 1.65V) / 0.4785V/g \approx 0.79g$$

$$R_z = (AdcR_z * V_{ref} / 1023 - V_{zeroG}) / Sensitivity = (561 * 3.3V / 1023 - 1.65V) / 0.4785V/g \approx 0.33g$$



- şekilde gösterilen R vektörünün X ve Y eksenleri ile yaptığı açıları hesaplayalım. Şekilde görülen A_{xr} açısının cosinüsü bize R_x/R değerini vermektedir. R_x ve R değerleri bilindiğine göre arccosinüs ile A_{xr} açısını elde edebiliriz. Benzer şekilde A_{yr} açısını hesaplayabiliriz. R vektöründe yukarıdaki birinci eşitlikten hesaplayıp aşağıdaki arccos fonksiyonlarına değerleri koyduğumuzda istediğimiz açıları almış oluruz.

$$\cos(A_{xr}) = R_x / R , A_{xr} = \arccos(R_x/R)$$

$$\cos(A_{yr}) = R_y / R , A_{yr} = \arccos(R_y/R)$$

$$\cos(A_{zr}) = R_z / R , A_{zr} = \arccos(R_z/R)$$



iZLENCE

- <https://www.youtube.com/watch?v=9j1BlEta00c>
- 
- 
- 

GYROSCOPES

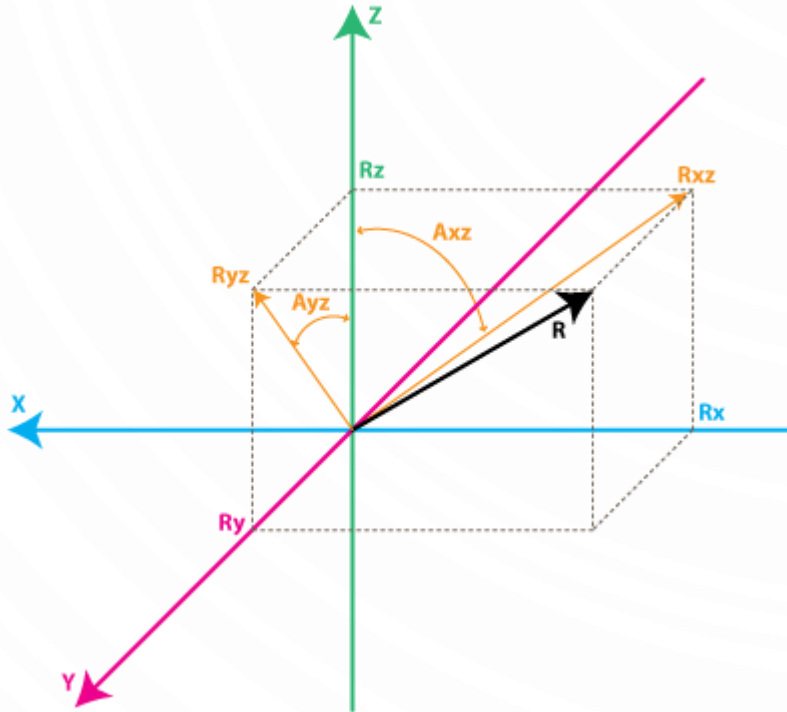
- Gyroscopelar basitçe bir tekerleğin eksenini etrafında hızlıca döndürülmesi sonucu ortaya çıkarlar. Tekerleğin etrafındaki çembere dik açıyla kenetlenmiş başka bir çember ve bu çemberlere dik açıyla tutturulmuş başka bir çember jiroskobu modeller. Jiroskobun öne çıkan iki özelliği vardır. Yatay ekseninde dönmekte olan bir jiroskopa yatay eksen doğrultusunda bir kuvvet uyguladığımızda yatay eksen etrafında dönmek yerine eksen etrafında dönmeye başlar. Diğer bir özelliği ise jiroskopun dönmeye başladığı eksenin jiroskobun durduğu yüzey ne açıyla oynatılırsa oynatılsın jiroskobun dönüş eksenini sabit kalır. Bu özelliğinden dolayı uyduların sürekli olarak dünyaya dönük kalması, uçaklarda ve çeşitli araçlarda yapay ufuk oluşturulması ve otopilot gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.



iZLENCE

- https://www.youtube.com/watch?v=cquvA_IpEsA
- 
- 
- 

- Bir şeyin bir eksen etrafında ne kadar hızla döndüğünü başka bir deyişle açısal hızını öğrenmek için kullanıyoruz. Bu hız dakikadaki dönüş sayısı (RPM) yada saniyedeki dönüş derecesi ($^{\circ}/sn$) olarak ifade edilmektedir. Piyasada entegre devre olarak satılan modelleri rahatlıkla bulunmaktadırlar. İvmeölçerlerde olduğu gibi bir, iki veya üç eksenle ölçüm yapabilen modelleri vardır ve saniyedeki dönüş hızı ölçümüne göre değerlendirilmektedirler. Bu hızların üzerindeki dönüşler sonucu sensör çıkışları anlamsız olabilmektedir.



- İki eksen (X,Y) gyro kullandığımızı düşünerek devam edelim. Buradaki R vektörünün XZ uzayındaki izdüşümü Rxz, YZ uzayındaki izdüşümü ise Ryz vektörü ile ifade edilmektedir. Bu vektörleri pisagor teoreminden

$$R_{xz}^2 = R_x^2 + R_z^2$$

$$R_{yz}^2 = R_y^2 + R_z^2 \text{ olarak hesaplayabiliriz.}$$

- Vektörlerin Z eksenine ile yapmış olduğu açılar ise Axz ve Ayz dir. Sistemi Y eksenine etrafında döndürdüğümüzde Axy açısı, X eksenine etrafında döndürdüğümüzde ise Ayz açısı değişecektir. Gyroscope un dönüş hızını ölçtüğünü söylemiştik. Dönüş hızını zaman ile çarparsak dönüş açısını elde etmiş oluruz. t0 anındaki açımızın Axz0 olduğunu ve t1 anındaki açımızın ise Axz1 olduğunu düşünelim. O halde dönüş açımız

$$(Axz1 - Axz0) = RateAxz * (t1 - t0) \text{ ile ifade edilir.}$$

- Sensörden alacağımız değerleri dönüş hızına çevirmek içinse aşağıdaki formülleri kullanabiliriz.

$$\text{RateAxz} = (\text{AdcGyroXZ} * \text{Vref} / 1023 - \text{VzeroRate}) / \text{Sensitivity}$$

$$\text{RateAyz} = (\text{AdcGyroYZ} * \text{Vref} / 1023 - \text{VzeroRate}) / \text{Sensitivity}$$

- Yine analog sensör kullandığımızı, 3v3 ile çalıştığımızı ve 10bit adc ile örnekleme yaptığımızı düşünelim. Sensörlerin hareketsiz durumda sabit olarak vermiş olduğu bir gerilim vardır ve VzeroRate olarak isimlendirilir. Bu gerilimi binary değerden elde ettiğimiz gerilimden çıkartmamız gerekmektedir.Örneğimiz için 1.23V olduğunu düşünelim. Sensör hassasiyetimiz ise volt başına 0.002 deg/s olsun. Bu değerleri kullanacağınız sensörün datasheetinden elde edebilirsiniz. gyroX ten 571 gyroY den 323 binary değerini okuduğumuzu düşünelim. Tüm bu değerleri yerine koyduğumuzda dönüş hızlarını aşağıdaki gibi buluruz.

$$\text{RateAxz} = (571 * 3.3\text{V} / 1023 - 1.23\text{V}) / (0.002\text{V/deg/s}) \approx 306 \text{ deg/s}$$

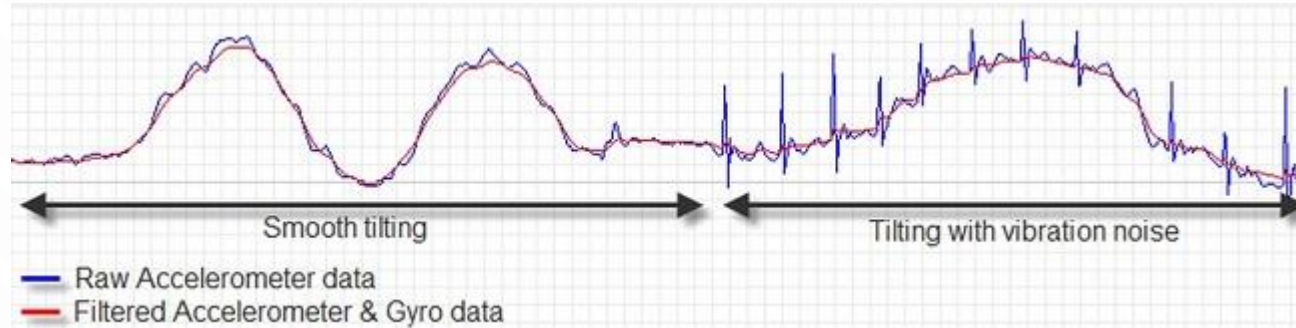
$$\text{RateAyz} = (323 * 3.3\text{V} / 1023 - 1.23\text{V}) / (0.002\text{V/deg/s}) \approx -94 \text{ deg/s}$$

- Elde ettiğimiz değerler görüldüğü gibi açısal hızlardır. Bu değerleride iki örnekleme arasında geçen süre ile çarparsak dönüş açımızı elde ederiz. Örneğin 1ms de örnekleme yaptığımızı farz edersek X için dönüş açısı 0.306 derece, Y için dönüş açısı -0.094 derece olacaktır.

IMU (INERTIAL MEASUREMENT UNIT)

- Gyroscope ve accelerometer tek başlarına bize yeterince ve güvenli bilgi vermezler. Bu yüzden bu iki sensörü birleştirerek yönelim, hız, pozisyon gibi bilgileri tek bir uniteden alabiliriz. Bu uniteye IMU (Inertial Measurement Unit) denilmektedir. Serbestlik derecesi DOF (Degrees of Freedom) ile ifade edilmektedirler. Örneğin 2 eksen gyro ve 3 eksen ivmeölçerinizi varsa 5DOF IMU elde etmiş olursunuz.
- Gyro ve accelerometer bias drift adı verilen bir kayma yaparlar ve bundan dolayı hassas açı ölçümünde tek başlarına kullanılamazlar. Ayrıca accelerometerlar kuvvete karşı çok duyarlı olduğundan en ufak titreşimlerde çok yüksek gürültüler oluşturmaktadırlar. Gyroların bu kuvvetlerden etkilenmediğini söylemiştik. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi gyrolar ivmeölçer çıkışlarını filtreleyerek daha doğru bir ölçüm yapmamızı sağlarlar.

- Filtreleme için çeşitli algoritmalar bulunmaktadır. En yaygın olarak kullanılanlarından birtanesi kalman filitresidir. Sistemin bir önceki çıkışları ile yeni ölçümlerinden yeni çıkışları tahmin edecek şekilde çalışmaktadır.





iZLENCE

- <https://www.youtube.com/watch?v=Y3TzhXYF0Lg>
- 





iZLENCE

- <https://vimeo.com/24800642>
- 
- 
- 



iZLENCE

- <https://www.youtube.com/watch?v=h508BTedKtk>
- 
- 
- 