



TAŞKÖPRÜ
MESLEK
YÜKSEKOKULU

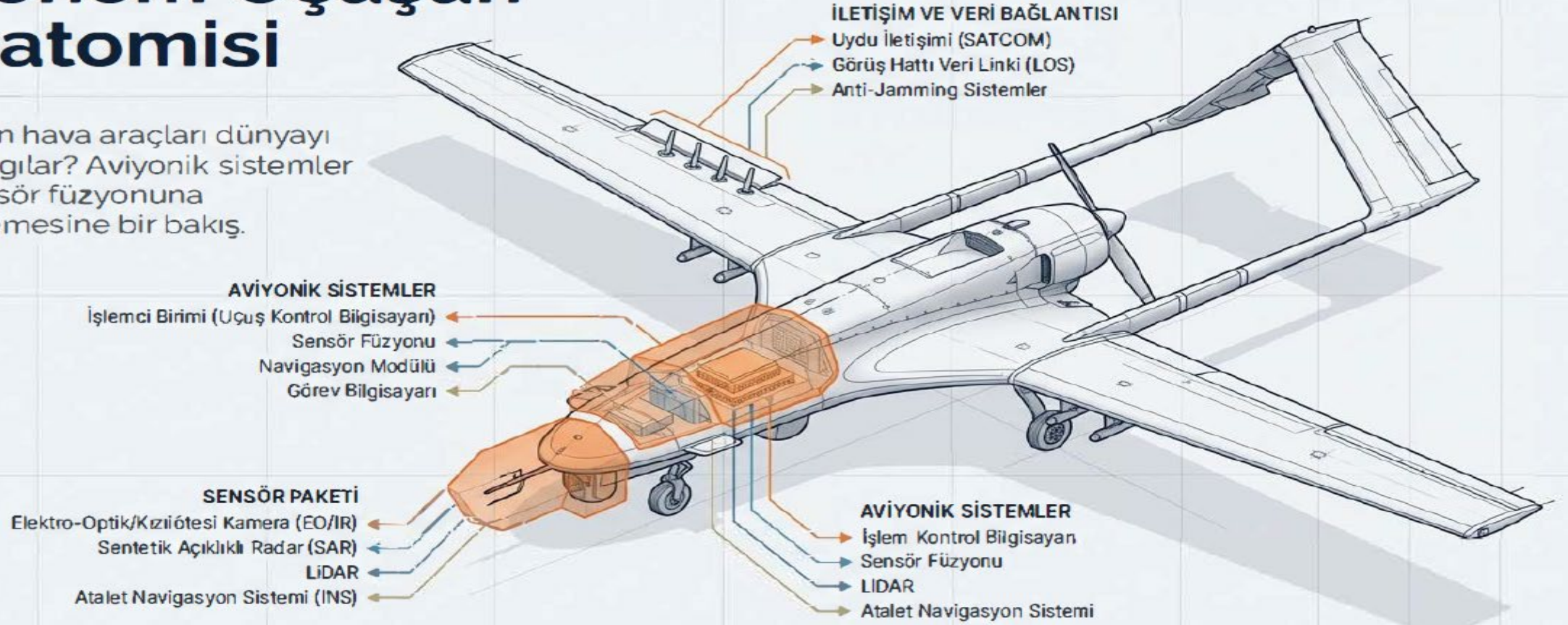
ELEKTRONİK VE OTOMASYON BÖLÜMÜ İNSANSIZ ARAÇ TEKNİKERLİĞİ

İAT102 İNSANSIZ ARAÇ SİSTEMLERİ TASARIMI

11. HAFTA İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

Otonom Uçuşun Anatomisi

Modern hava araçları dünyayı nasıl algılar? Aviyonik sistemler ve sensör füzyonuna derinlemesine bir bakış.

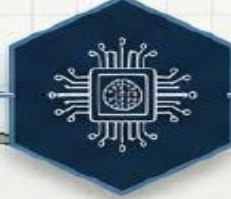


Kör Bir Makineden Otonom Bir Robota



Sensörler

Hava aracının durumunu, yönünü ve çevresini algılar. Sensör ve haberleşme sistemleri olmayan bir hava aracı tamamen kör ve tek başındır.



Uçuş Bilgisayarı

Pilotun görevlerini devralan ana merkez. Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ve sensör verilerini işleyerek rotada kalmayı sağlar.



Aktüatörler

Bilgisayardan gelen komutları fiziksel harekete dönüştüren servo sistemleri.

Bayraktar TB2 gibi modern İHA'lar; taksi, kalkış, seyir ve iniş görevlerini insan müdahalesi olmadan, uçuş bilgisayarına yüklenen görev planları ile adeta bir robot gibi gerçekleştirir.

Temel Uçuşun 4 Kilit Göstergesi

İster bir insan pilot olsun ister uçuş bilgisayarı, temel manevraları gerçekleştirmek ve kararlı bir uçuş sağlamak için anlık olarak şu dört verinin kusursuz şekilde okunması gerekir:

Hız (Speed)

Hava aracının hava kütlesi içindeki anlık ilerleyişi.



Durum (Attitude)

Uçağın yere göre yönelimi (Yunuslama ve Yuvarlanma açıları).



İrtifa (Altitude)

Yeryüzünden veya deniz seviyesinden olan yükseklik.



Yön (Heading)

Uçağın burnunun pusula üzerinde gösterdiği ilerleyiş açısı.

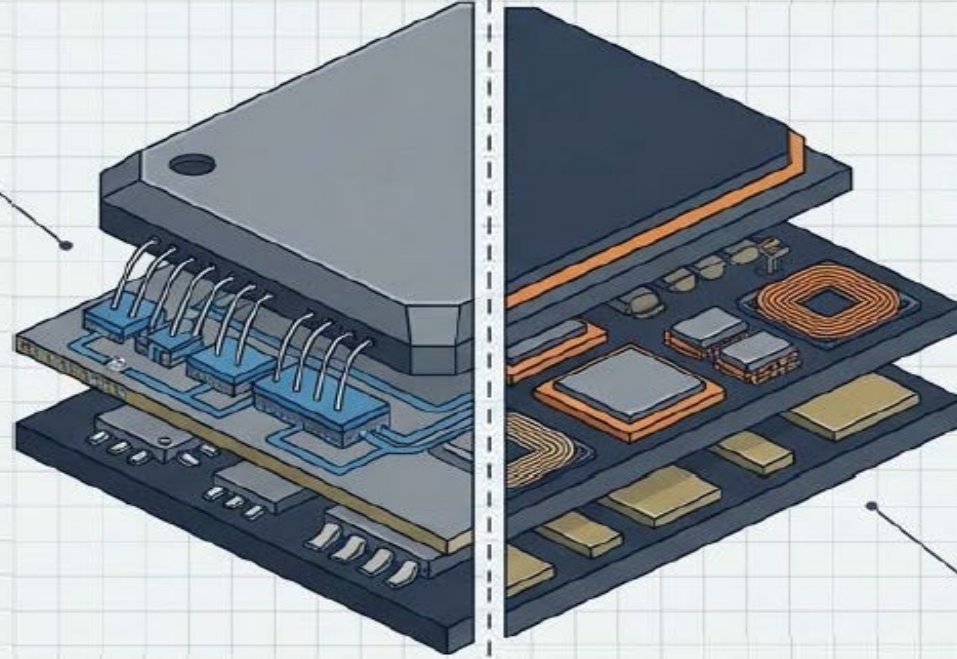


Ataletsel Ölçüm Birimi (IMU): Otonominin İç Kulağı

IMU; açısal hızı, kuvveti ve bazen manyetik alanı ölçen özel bir sensör kümesidir. Tek bir bileşen gibi görünse de aslında içerisinde farklı fiziksel kuvvetleri okuyan bağımsız mikro-sensörler barındırır.

6 Eksenli

3 eksenli İvmeölçer +
3 eksenli Jiroskop.
Sadece hareket ve
dönüşü algılar.



9 Eksenli

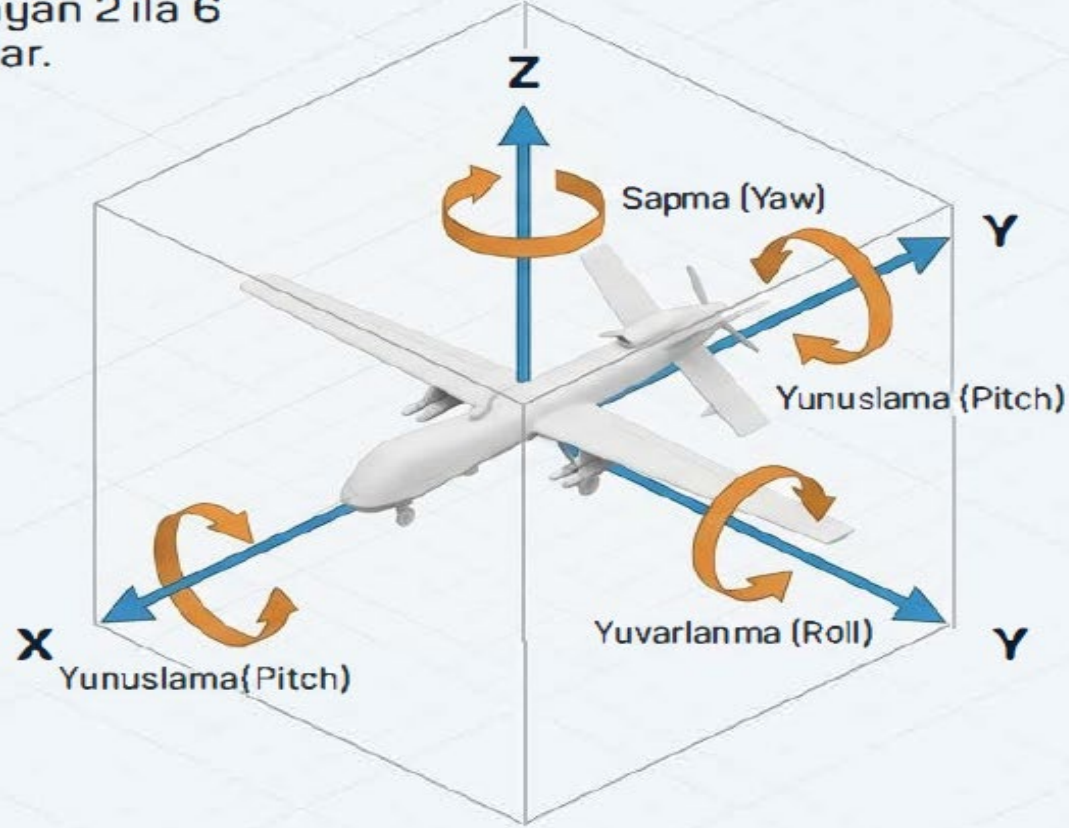
[+ 3 eksenli Manyetometre].
Manyetik alanı da ölçerek
mutlak yön (pusula)
yeteneği kazanır.

6 Serbestlik Derecesi (6 DOF)

Bir IMU, hava aracının 3B uzayda hareket edebildiği farklı yolları tanımlayan 2 ila 6 serbestlik derecesi (DOF) sağlar.

3 Derece Öteleme (Düz Hareket):

Ön/Arka (X),
Sağ/Sol (Y),
Yukarı/Aşağı (Z).



3 Derece Dönme (Açısal Hareket):

Yunuslama (Pitch - Y eksenini),
Yuvarlanma (Roll - X eksenini),
Sapma (Yaw - Z eksenini).

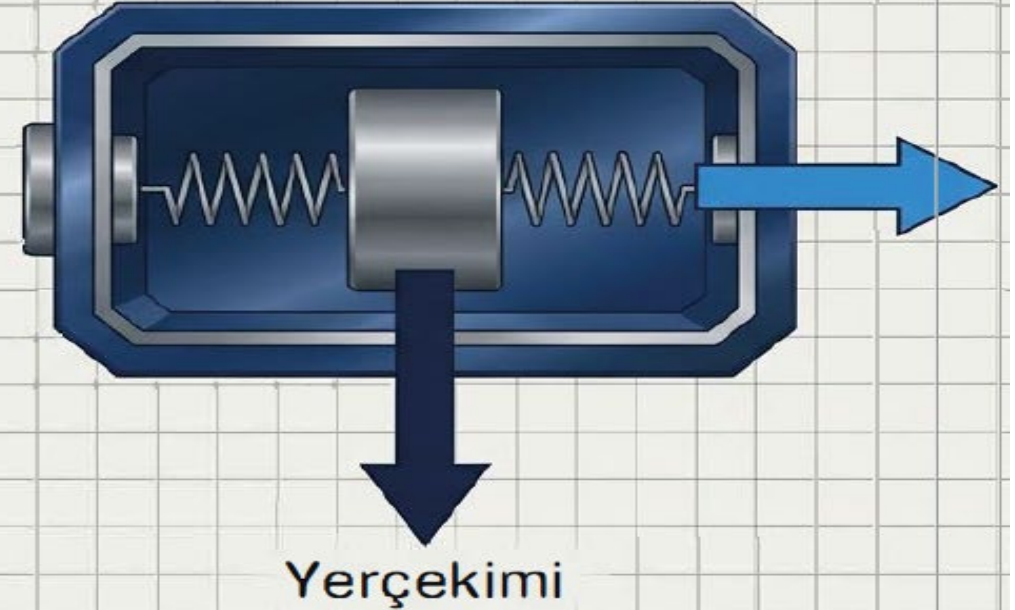
İvmeölçer: Doğrusal Hareket ve Referans

En yaygın kullanılan hareket sensörüdür. Arabada gaza bastığınızda hissedilen kuvvet gibi, tek bir eksende hızı değil, hız değişimini (ivmeyi) ölçer.

İvmeölçerler yerçekimini aşağı doğru sabit bir kuvvet olarak ölçebilir. Bu yetenek, uçağın Dünya'nın referans çerçevesine (aşağı yönün neresi olduğuna) göre hizalanması için kritik bir temel oluşturur.

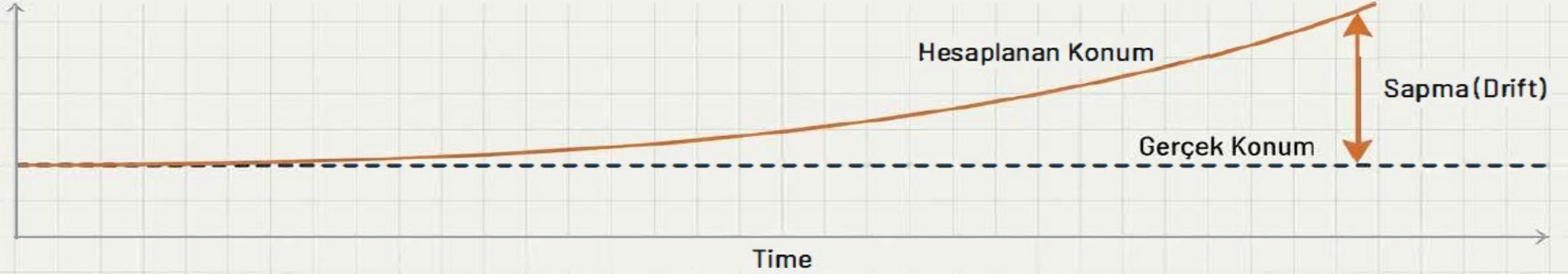
Kör Nokta:

İvmeölçerler doğrusal ivmeyi çok iyi ölçerken, bükülmeyi veya dönme hareketini kesinlikle ölçemezler.



Mesafe Tahmininde İkili İntegral Tuzağı

İvmeölçer verisini kullanarak uçağın konumunu bulmak matematiksel olarak mümkündür, ancak pratikte tehlikelidir.



1. İvmenin integrali alındığında = Hız tahmini elde edilir.

2. Hızın tekrar integrali alındığında = Konum tahmini elde edilir.

İkili integral alma işlemi, sensördeki en ufak bir titreşim veya ölçüm hatasını zamana bağlı olarak katlayarak büyütür. Bu duruma yüksek sapma (drift) denir. Bu nedenle ivmeölçer, tek başına bir mesafe tahmini yöntemi olarak kullanılamaz.

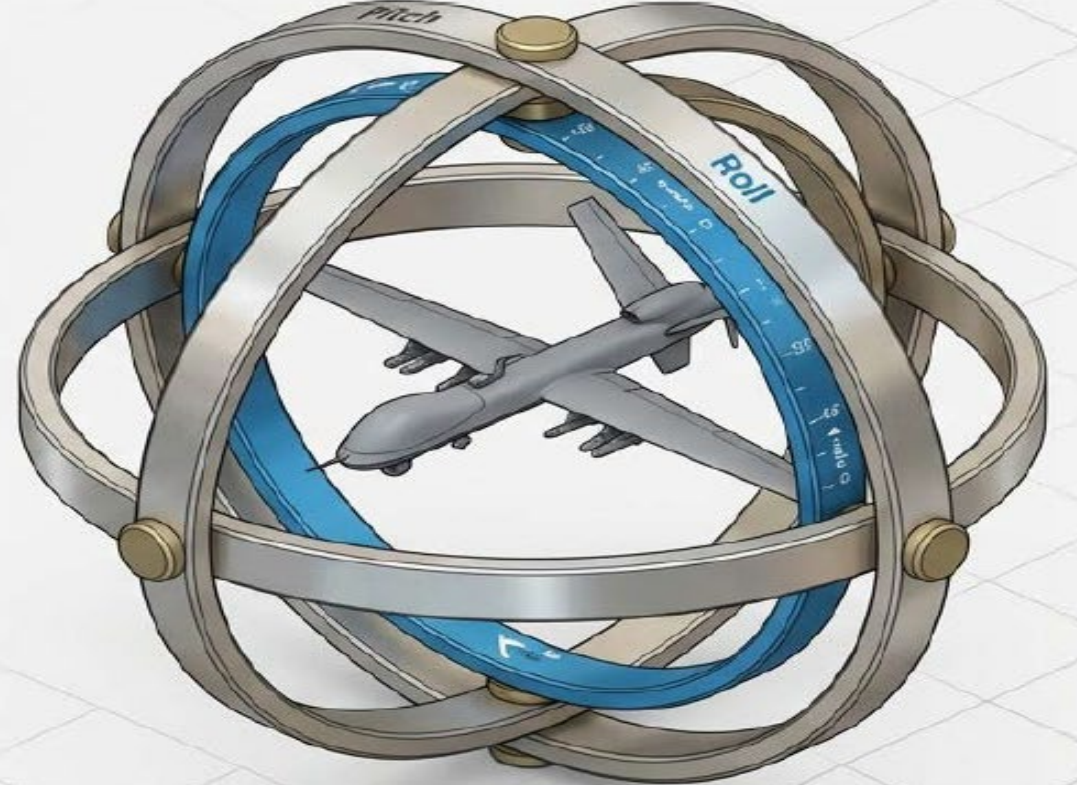
Jiroskop: Açısal Hızın Gözlemcisi

İvmeölçerlerin ölçemediği bükülme ve dönme hareketlerini yakalar.

Uçağın üç eksen etrafındaki anlık açısal hızını (Yunuslama, Yuvarlanma, Sapma) son derece hassas bir şekilde ölçer.

Sensör füzyon yazılımı ile entegre edildiğinde, hava aracının 3B alan içindeki anlık yönelimini belirlemek için en temel kaynaktır.

Başlangıç Referansı Yoktur: Bir jiroskop ne kadar döndüğünü bilir, ancak yerçekimi veya manyetik kuzey gibi bir başlangıç referans çerçevesine sahip değildir. Zamanla ufuk çizgisini kaybedebilir.



Manyetometre: Uzaydaki Dijital Pusula



Adından da anlaşılacağı gibi, sensörün bulunduğu uzay noktasındaki manyetik akı yoğunluğunu ölçer.

Dünya'nın manyetik alanındaki hassas dalgalanmaları tespit ederek, manyetik kuzeye doğru olan vektörü hesaplar.

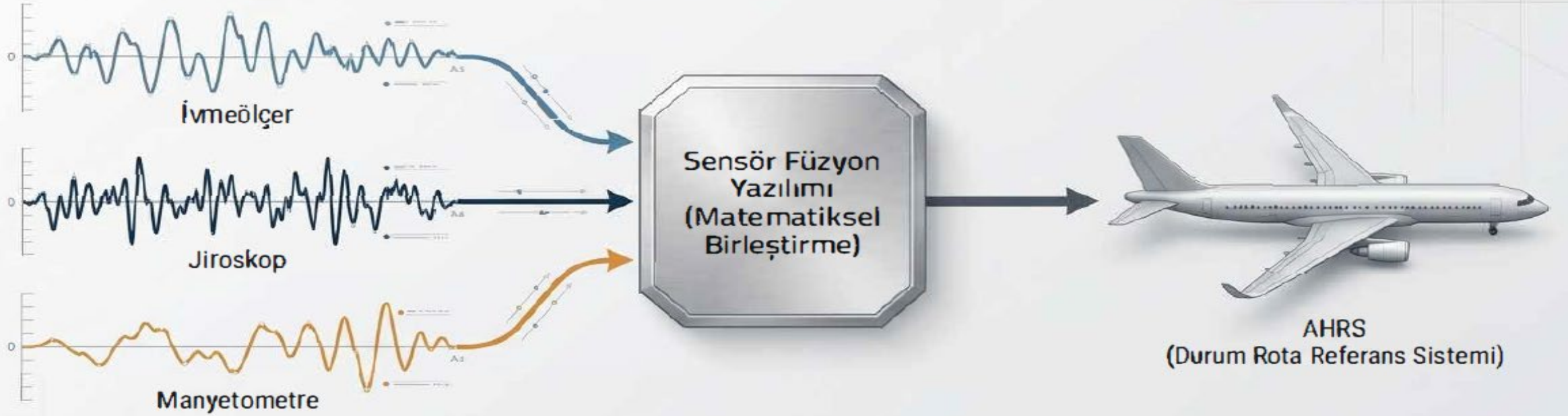
İvmeölçerin aşağıyı, jiroskopun dönüşü bulduğu sistemde, manyetometre uçağa mutlak yönü (absolute heading) verir.

Sensör Anatomisi Karşılaştırma Matrisi

	 İvmeölçer	 Jiroskop	 Manyetometre
Ölçülen Fiziksel Değer	Doğrusal İvme ve Yerçekimi	Açısal Hız (Dönüş)	Manyetik Akı Yoğunluğu
Serbestlik Derecesi (DOF)	3 Eksen (X, Y, Z boyutları)	3 Eksen (Yunuslama, Yuvarlanma, Sapma)	Yön (Pusula Referansı)
Sisteme En Büyük Katkısı	Yerçekimi referansı ile mutlak aşağı yönünü bulur.	Ani, hızlı manevraları ve dönüşleri gecikmesiz yakalar.	Dünya'nın çerçevesinde mutlak kuzey yönünü (heading) sağlar.
Kritik Zayıflığı	Konum hesaplamasında zamanla yüksek sapma (drift) yapar.	Başlangıç referansı yoktur, uzun süreli uçuşta ufuk bilgisini kaydırır.	Çevresel metal ve manyetik parazitlerden kolay etkilenir.

Sensör Füzyonu: Parçaların Toplamından Fazlası

Hiçbir donanım tek başına mükemmel değildir. Sensör füzyonu, cihazın oryantasyon ve yönünün kusursuz bir resmini oluşturmak için birden fazla sensörden gelen ham verileri algoritmalarla (örn. Kalman Filtresi) birleştiren matematiksel bir sanattır.



İvmeölçerin **yerçekimi** hissi, jiroskobun **ufuk** kaymasını düzeltir.



Manyetometrenin **kuzey referansı**, tüm sistemi Dünya'nın çerçevesine hizalar.



Sonuç: Otonom uçuşun kalbi olan, **hatasız** ve **kararlı** bir AHRS verisi.

Veri Yığınınından Otonom Bilince



67:24.357 ACCEL: -0.98 0.02 0.01
67:24.451 GYRO: 1.5 -0.5 0.2
67:24.697 MAG: 34.2 12.1 -5.4

$$\sum \int \left[\begin{array}{c} \delta \\ \omega_p \end{array} \right] a_{110-FC}$$

67:23.354 ACCEL: -0.08 0.02 0.01
67:24.272 GYRO: 1.5 -0.5 0.2
67:23.832 MAG: 34.2 12.1 -5.4



67:23.797 MAG: 34.2 12.1 -5.4
67:24.304 ACCEL: -0.98 0.02 0.01
67:24.503 GYRO: 1.5 -0.5 0.2

$$\int \theta, \omega, \varphi, \dots$$

67:24.637 MAG: 34.2 12.1 -5.4
67:24.372 MAG: 34.2 12.1 -5.4
67:24.672 ACCEL: -0.98 0.02 0.01

$$\sum_{i=1}^n \delta_i \int \delta((n, \dots)$$

67:24.451 GYRO: 1.5 -0.5 0.2
67:24.397 MAG: 34.2 12.1 -5.4
67:24.787 MAG: 34.2 12.1 -5.4

1.56	-0.79	-0.18
-0.22	0.09	0.05
0.01	0.05	0.03
0.06	0.06	0.13
0.08	0.01	0.03

67:24.272 GYRO: 1.5 -0.5 0.2
67:24.257 MAG: 34.2 12.1 -5.4
67:23.787 MAG: 34.2 12.1 -5.4

3.68	-0.55	0.65	1.83
-6.92	-0.21	0.02	0.03
0.02	0.03	0.02	0.03
0.05	0.04	0.04	0.53
0.03	0.04	0.05	0.53

67:24.982 ACCEL: -0.98 0.02 0.01
67:23.362 GYRO: 1.5 -0.5 0.2
67:23.327 MAG: 34.2 12.1 -5.4

67:23.397 MAG: 34.2 12.1 -5.4
67:24.627 ACCEL: -0.98 0.02 0.01
67:24.337 GYRO: 1.5 -0.5 0.2

67:24.257 MAG: 34.2 12.1 -5.4
67:23.651 ACCEL: -0.98 0.02 0.01
67:23.787 GYRO: 1.5 -0.5 0.2

67:24.662 MAG: 34.2 12.1 -5.4
67:23.021 ACCEL: -0.98 0.02 0.01
67:24.927 GYRO: 1.5 -0.5 0.2

67:24.137 MAG: 34.2 12.1 -5.4



Modern havacılığın sihri sadece güçlü motorlarda veya aerodinamik gövdelerde saklı değildir.

Asıl devrim; ataletsel ölçüm birimlerinin topladığı on binlerce kusurlu ham veriyi, sensör füzyonu algoritmalarıyla işleyerek kararlı ve güvenilir bir uçuş bilincine dönüştürebilmektedir. Hava aracı, işte bu kusursuz elektronik ve matematiksel ekosistem sayesinde gökyüzünde kendi yolunu çizen bağımsız bir robota dönüşür.

- Champion, M., Ranganathan, P., & Faruque, S. (2018). UAV swarm communication and control architectures: A review. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 7(2), 93–106.
- Korniienko, V., Korniienko, S., et al. (2021). Automated system for dispatching the movement of unmanned aerial vehicles with a distributed survey of flight tasks. *Journal of Intelligent Systems*, 30(1), 1–15.
- Liu, X., Li, X., Shi, Q., Xu, C., & Tang, Y. (2021). UAV attitude estimation based on MARG and optical flow sensors using gated recurrent unit. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 18(2)
- Ko, N. Y., Youn, W., Choi, I. H., Song, G., & Kim, T. S. (2018). Features of invariant extended Kalman filter applied to unmanned aerial vehicle navigation. *Sensors*, 18(9), 2855.
- Rico, R., et al. (2023). Hardware and RTOS design of a flight controller for professional applications. *IEEE Access*, 11, 1–15.



TEŞEKKÜRLER