



TAŞKÖPRÜ
MESLEK
YÜKSEKOKULU

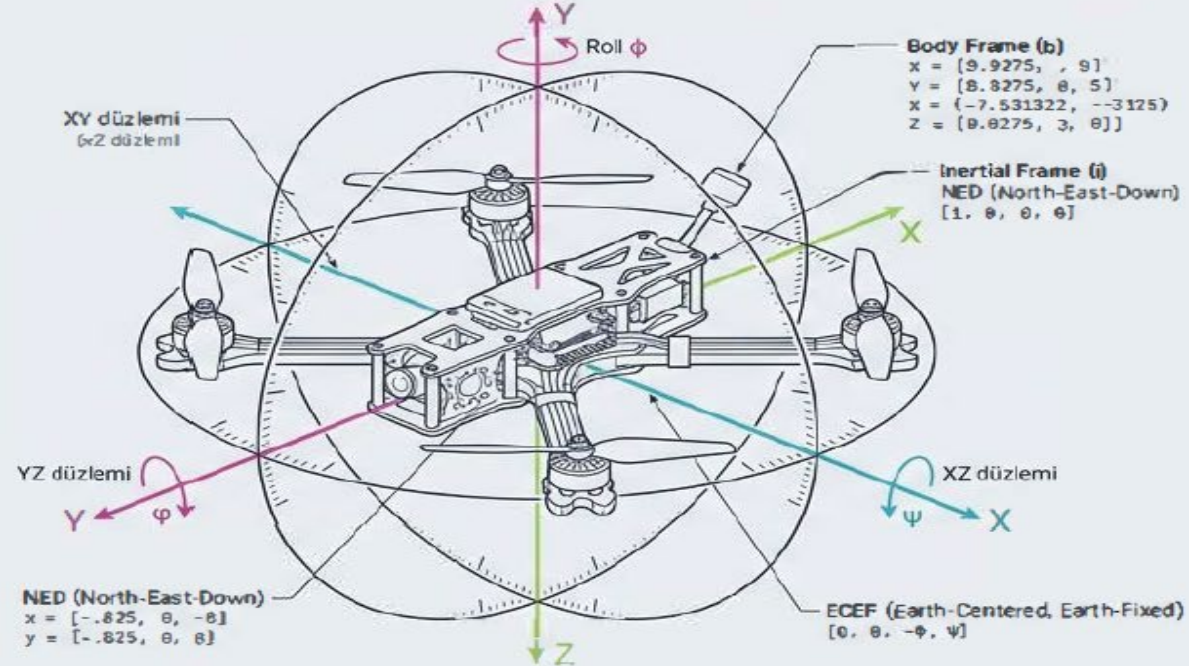
ELEKTRONİK VE OTOMASYON BÖLÜMÜ İNSANSIZ ARAÇ TEKNİKERLİĞİ

İAT102 İNSANSIZ ARAÇ SİSTEMLERİ TASARIMI

8. HAFTA İNSANSIZ HAVA ARACI TASARIMI

Otonom Uçuşun Geometrisi

Drone Koordinat Sistemleri ve Uzamsal Navigasyon



Dünya üzerinde neredeyim? sorusundan Nasıl hareket ediyorum? sorusuna uzanan matematiksel yolculuk.

Neredeyim? (Konum)

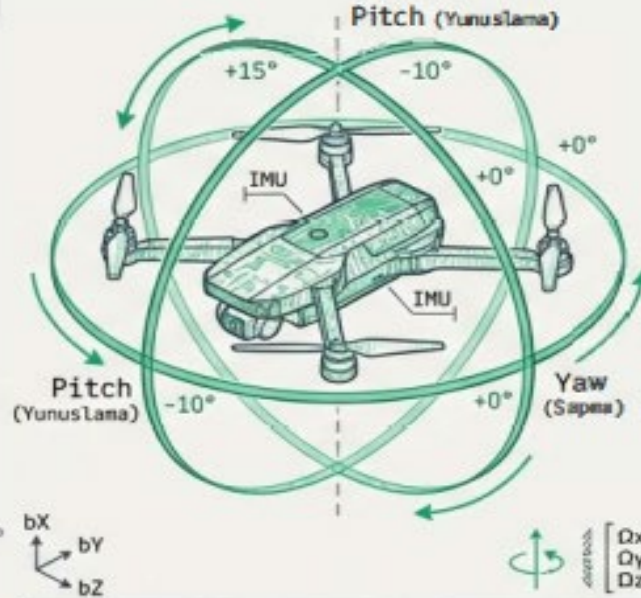


$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} LAT \\ LON \\ ALT \end{bmatrix}$

Küresel Koordinatlar (ECEF/LLA)
ve GNSS Takımyıldızları.

Hangi Yöndeyim? (Yönelim)

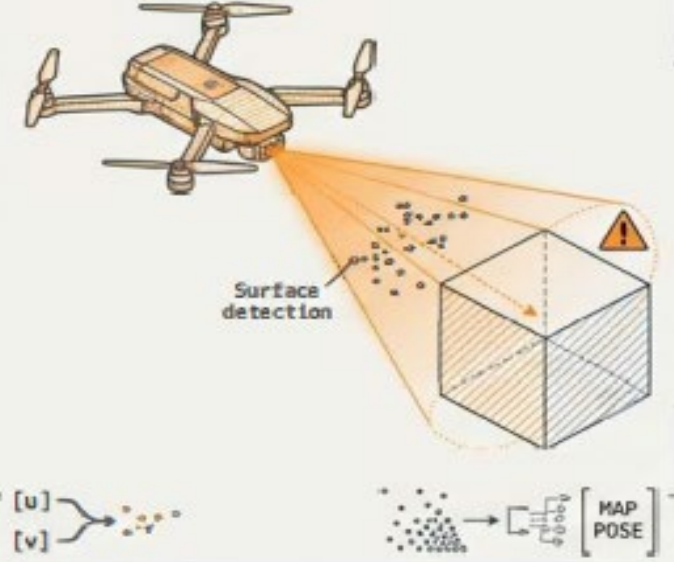


$\begin{bmatrix} bX \\ bY \\ bZ \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} Qx \\ Qy \\ Qz \end{bmatrix}$

Gövde Koordinatları (Body Frame)
ve IMU Sensörleri.

Nereye Gitmeliyim? (Rota ve Algı)

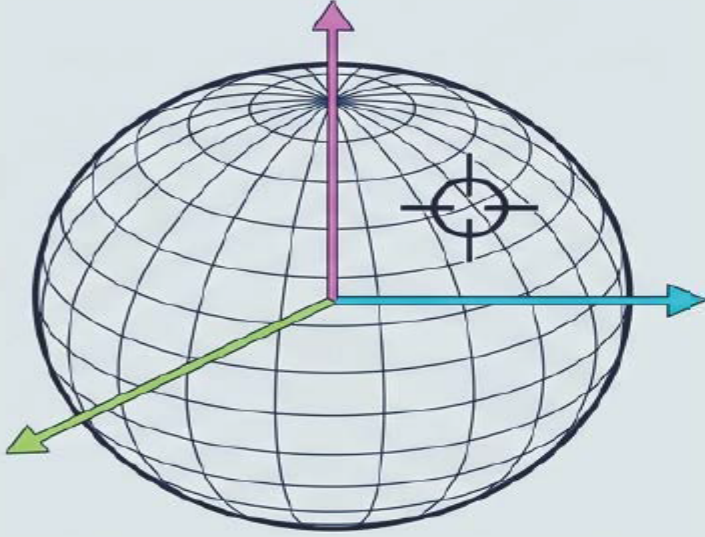


$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} MAP \\ POSE \end{bmatrix}$

Optik Akış, SLAM ve Lidar.

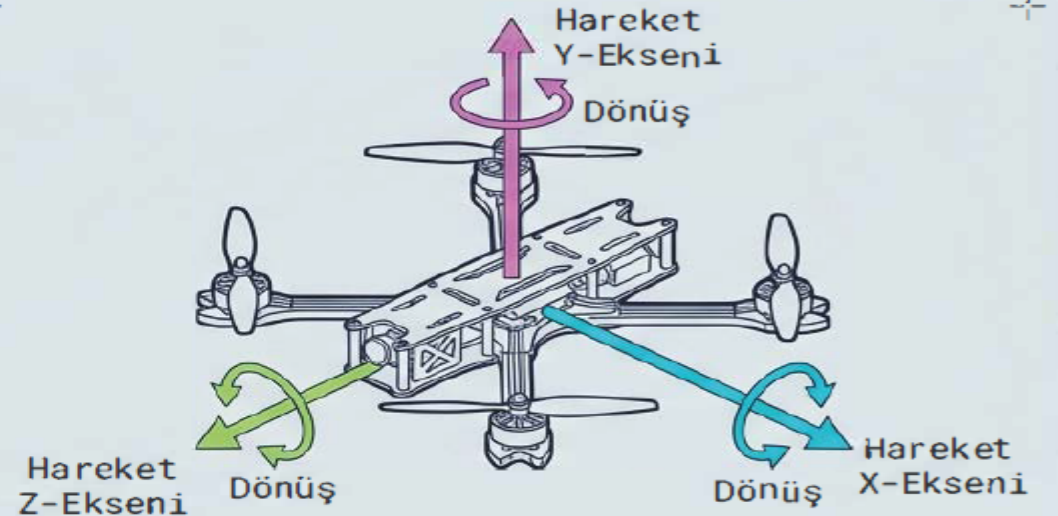
Soru 1: Dünya üzerinde neredeyim?



Sensör Çıktısı:
GPS (GNSS) ve Manyetometre.

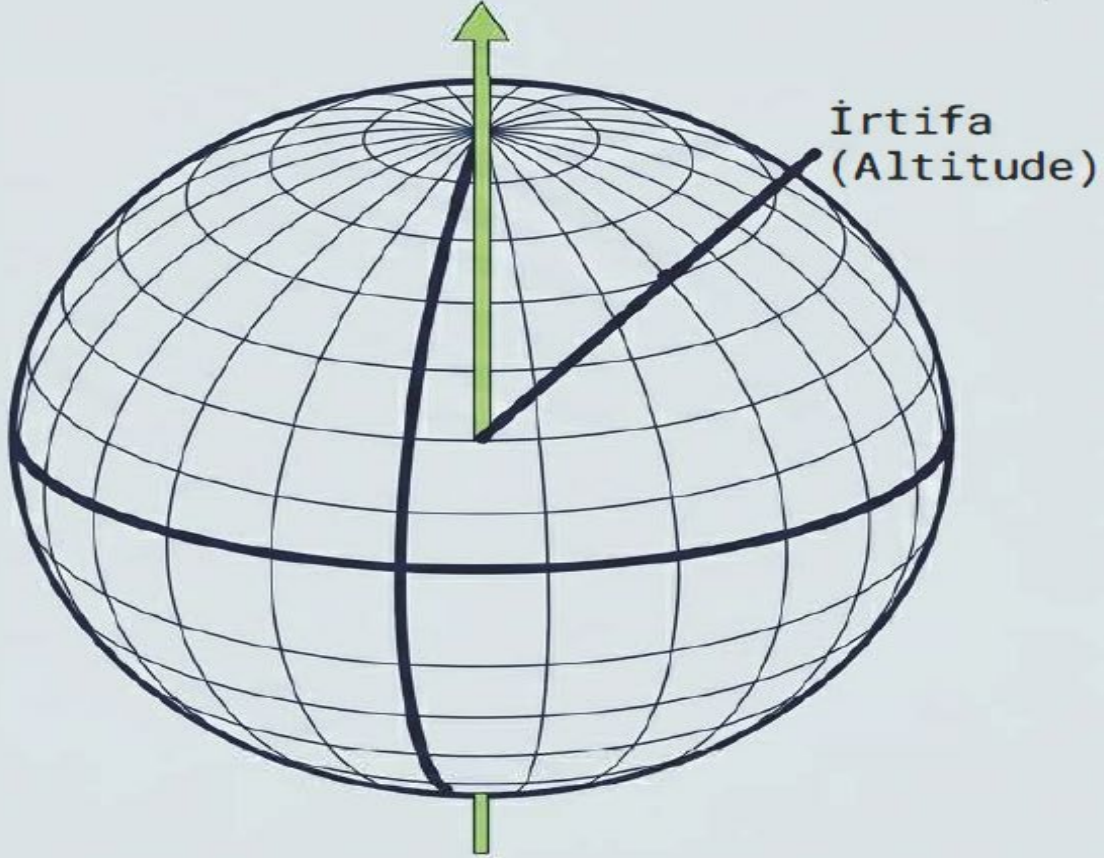
Sabit yer koordinat sistemlerinde mutlak konum ölçümü yapar.

Soru 2: Kendi gövdeme göre nasıl hareket ediyorum?



Sensör Çıktısı:
İvmeölçer ve Jiroskop.

Sürekli değişen gövde koordinat sistemine göre (ivme ve dönüş) ölçüm yapar.



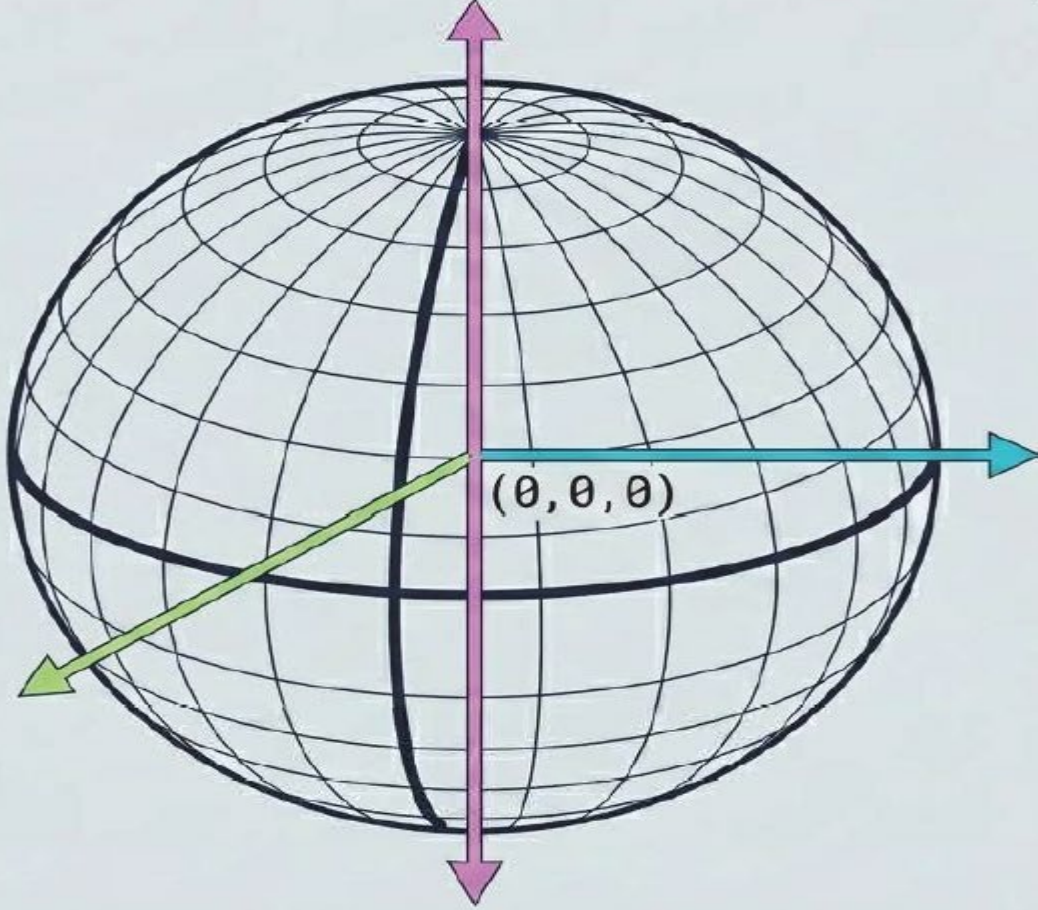
Seviye 1: Coğrafi Referanslar (LLA)

Drone'un dünya üzerindeki mutlak yerini belirlemek için kullanılan birincil sistemdir. Geleneksel GNSS (GPS) verileri bu formatta iletilir.

Enlem (Latitude): Ekvatora olan uzaklık.

Boylam (Longitude): Başlangıç meridyenine olan uzaklık.

İrtifa (Altitude): Deniz seviyesinden (MSL) veya elipsoid modelinden olan fiziksel yükseklik.



Seviye 1: Matematiksel Gerçeklik (ECEF)

Earth-Centered, Earth-Fixed

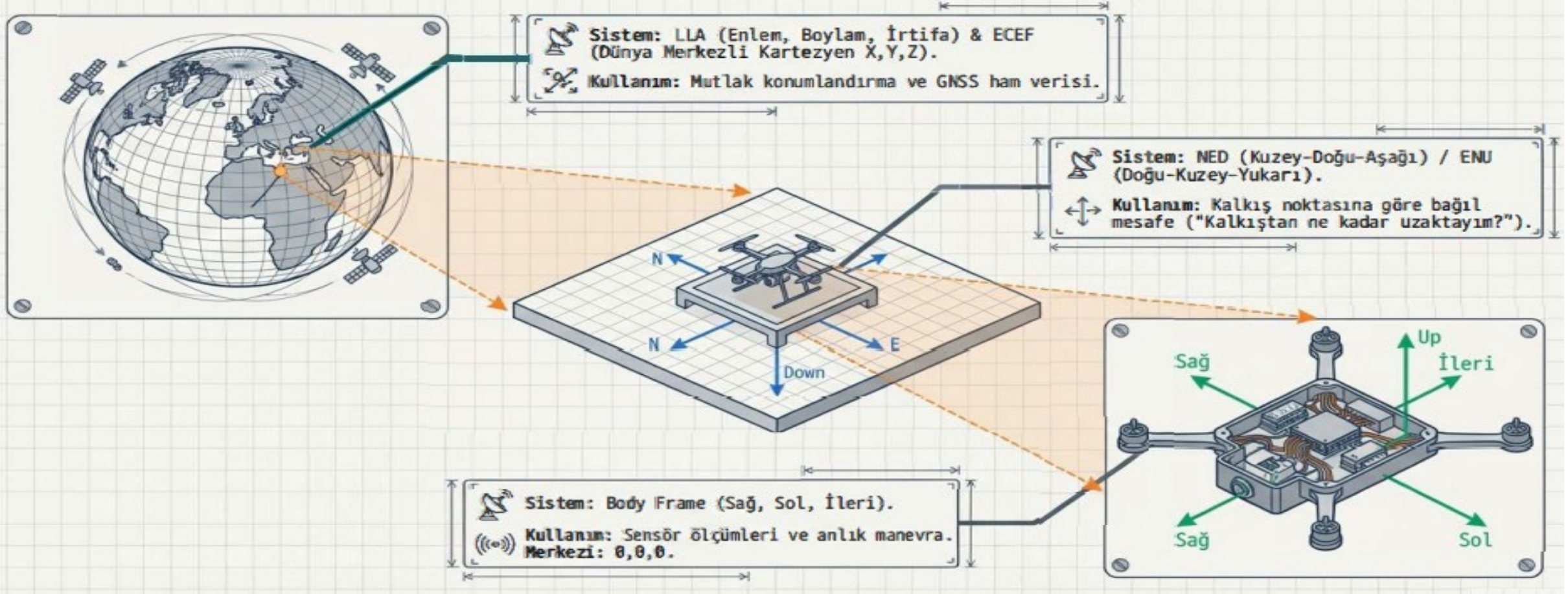
Küresel verilerin kartezyen formata dökülmüş halidir. Uyduların birbirine göre konumu gibi hassas matematiksel hesaplamalarda zorunludur.

Merkez Noktası $(0, 0, 0)$ doğrudan Dünya'nın çekirdeğidir. Drone havada uçarken bile uzamsal olarak dünyanın merkezine göre X, Y, Z vektörleriyle hesaplanır.

Teşhis Matrisi: Makro Sistemlerin Karşılaştırması

Kriter	LLA (Coğrafi)	ECEF (Kartezyen)
Orijin (0,0,0)	Ekvator ve Başlangıç Meridyeni Kesişimi	Dünya'nın Tam Merkezi (Çekirdek)
Format	Açısal ve Doğrusal (Derece / Metre)	Salt Doğrusal (X, Y, Z Kartezyen)
Sensör Çıktısı	Standart GPS Alıcısı Ham Verisi	Uçuş Kontrolcüsü (Matematiksel Çeviri)
Kullanım Amacı	İnsan Tarafından Okunabilen Konum	Sistem İçi Uydu/Mesafe Hesaplamaları

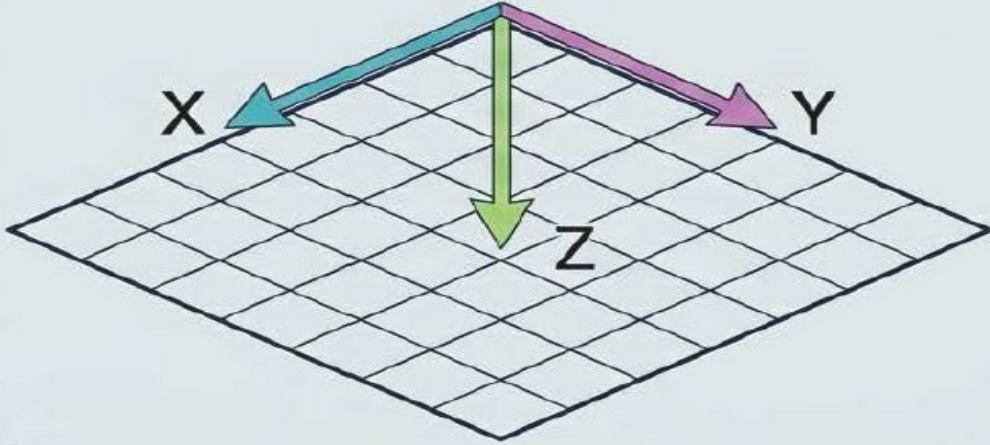
Koordinat Mimarisi: Makrodan Mikroya



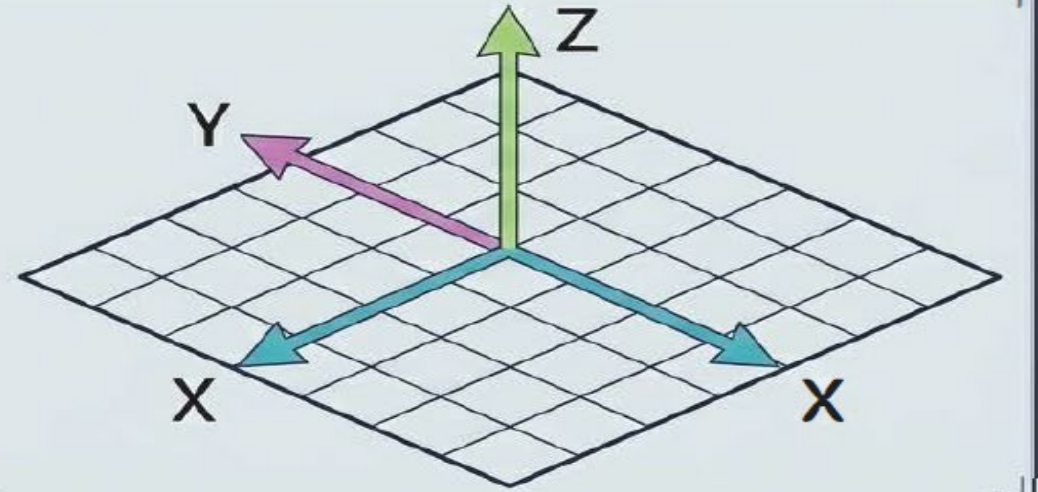
Seviye 2: Yerel Dünya (Global Frame)

Drone havalandıktan sonra dünyanın merkezinden ziyade Kalkış yaptığım noktaya göre ne kadar uzaktayım? sorusuna yanıt arar. GPS verileri uçuş bilgisayarında genellikle bu sisteme dönüştürülür.

NED (North-East-Down)
Havacılık standartı.



ENU (East-North-Up)
Yer istasyonları ve robotik standartı.



Seviye 3: Gövde Koordinat Sistemi (Body Frame)

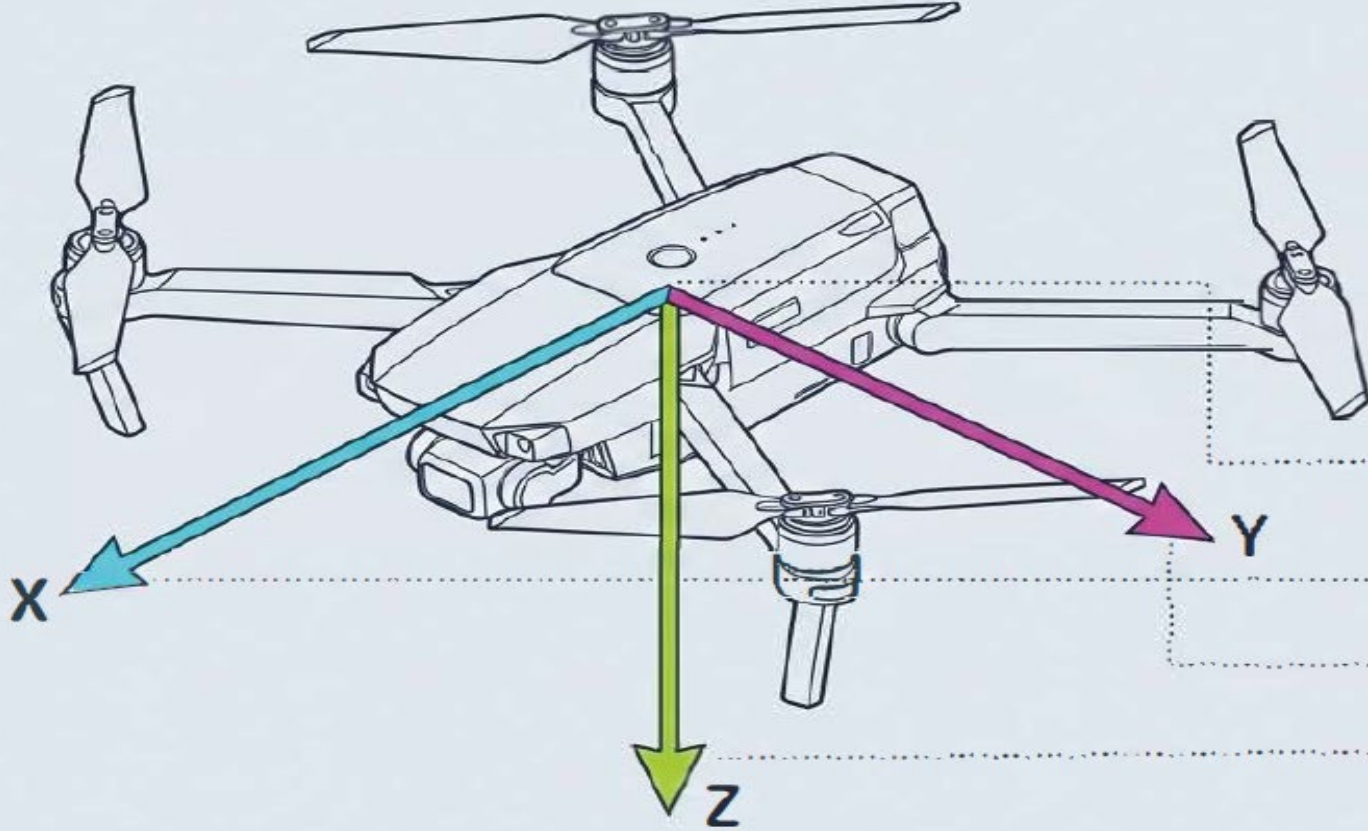
Drone'un kendi sağını ve solunu bilmesini sağlayan, araç ile birlikte hareket eden referans çerçevesidir.

Orijin (0,0,0): Drone'un kütle merkezi.

X Eksen: Ön taraf (Burun)

Y Eksen: Sağ taraf (Kanat/Kol)

Z Eksen: Alt taraf (Zemin yönü)

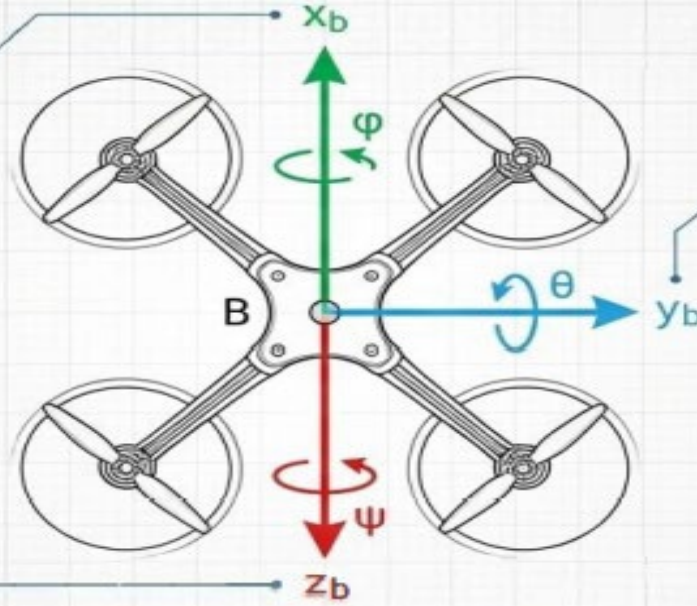


Hangi Yöndeyim? (Gövde Koordinat Sistemi)

Drone'un çevreyi kendi merkezinden (θ, θ, θ) anlamlandırma biçimi.

11.1.20

X Eksen: İleri/Geri eksen.
Drone'un ön tarafını
(burun) gösterir.
(Roll/Yuvarlanma eksen).



11.2.70

Y Eksen: Sağ/Sol eksen.
Drone'un sağ kanat/kol
tarafını gösterir.
(Pitch/Yunuslama eksen).

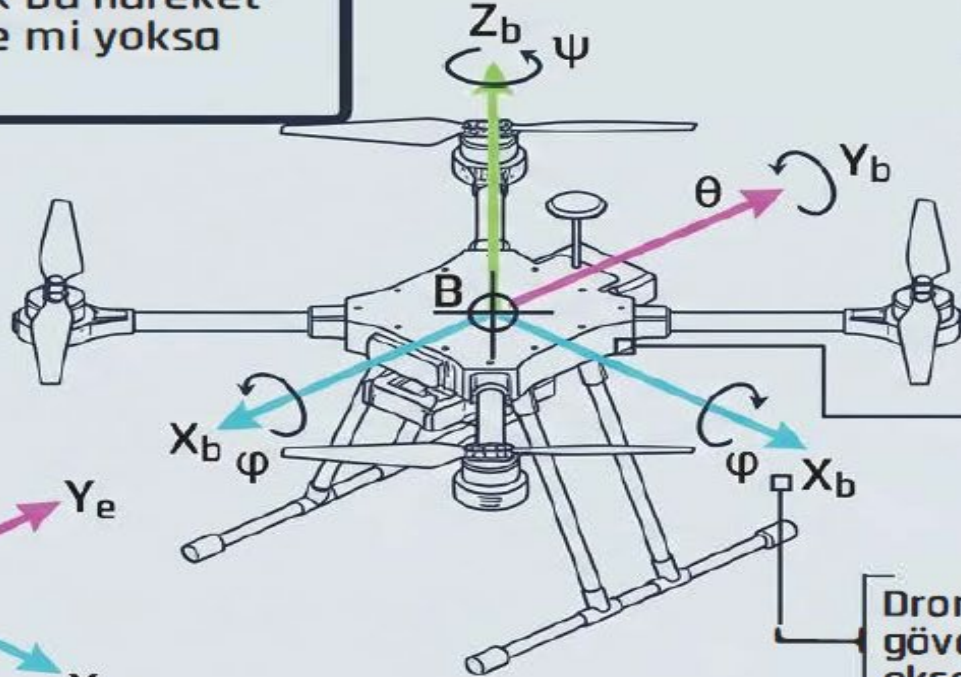
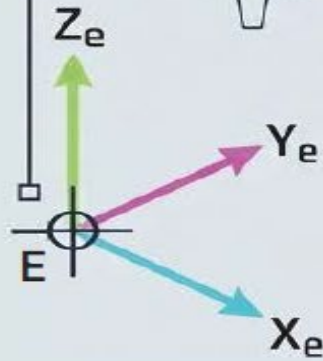
11.3.30

Z Eksen: Aşağı/Yukarı eksen.
Drone'un doğrudan alt tarafını
gösterir. (Yaw/Sapma eksen).

Çeviri Boşluğu: İki Evrenin Çarpışması

Drone kendi Body Frame sisteminde X ekseninde (ileri) gidiyor olabilir. Ancak bu hareket Dünya Frame sisteminde kuzeye mi yoksa doğuya mı karşılık geliyor?

Dünya Frame Orijini:
Sabit Referans



Body Frame Orijini:
Hareketli Referans

Drone eğildikçe (Roll/Pitch/Yaw),
gövde eksenleri sabit dünya
eksenlerinden tamamen kopar.

Matematiksel Köprü: Rotasyon Matrisleri

Sensör verilerinin ve engellerin iki koordinat sistemi arasında çevrilmesini sağlayan matematiksel araçlardır.



Girdi (Dünya Frame)

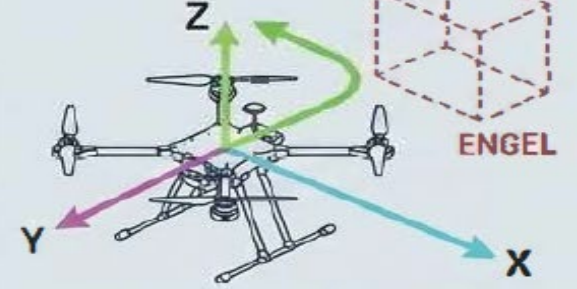
GPS'ten gelen ham engel verisi: 40.1234 Enlem, 29.5678 Boylam.



$$\begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

İşlem: Rotasyon Matrisi

Drone'un anlık eğimini (Roll/Pitch/Yaw) hesaba katarak mutlak konumu yerel uzaya çevirir.

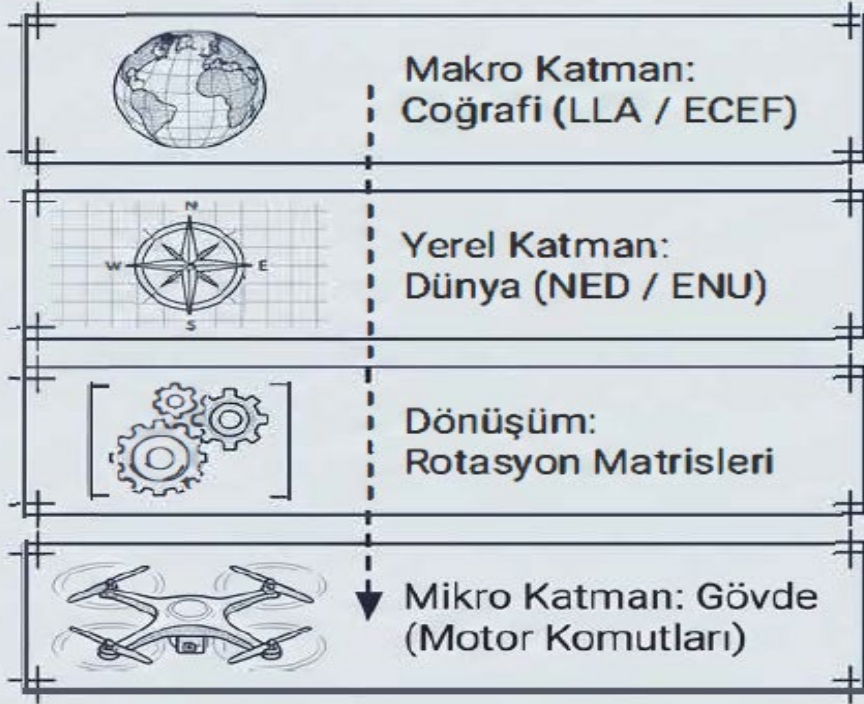


Çıktı (Body Frame)

Uçuş kontrolcüsü için aksiyon komutu: Engel benden 2 metre ileride (X eksen) ve 1 metre sağda (Y eksen).

Sentez: Otonom Navigasyon Yığını

Uçuş, bu sistemlerin hiçbirinin tek başına çalışmadığı, saniyede yüzlerce kez tekrarlanan bir veri dönüştürme döngüsüdür.



Dünya üzerindeki mutlak konum (GNSS), yerel bir vektöre (NED) dönüştürülür, sensör verileriyle harmanlanır ve son olarak otonom hareket için gövde komutlarına (Body Frame) çevrilir.

- 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.
- Kangunde, V., Jamisola, R. S., & Theophilus, E. K. (2021). A review on drones controlled in real-time. *International Journal of Dynamics and Control*, 9(4), 1832–1846.
- Leishman, R. C., Macdonald, J. C., Beard, R. W., & McLain, T. W. (2014). Quadrotors and accelerometers: State estimation with an improved dynamic model. *IEEE Control Systems Magazine*, 34(1), 28–41
- Pounds, P., Mahony, R., & Corke, P. (2010). Modelling and control of a large quadrotor robot. *Control Engineering Practice*, 18(7), 691–699.



TEŞEKKÜRLER