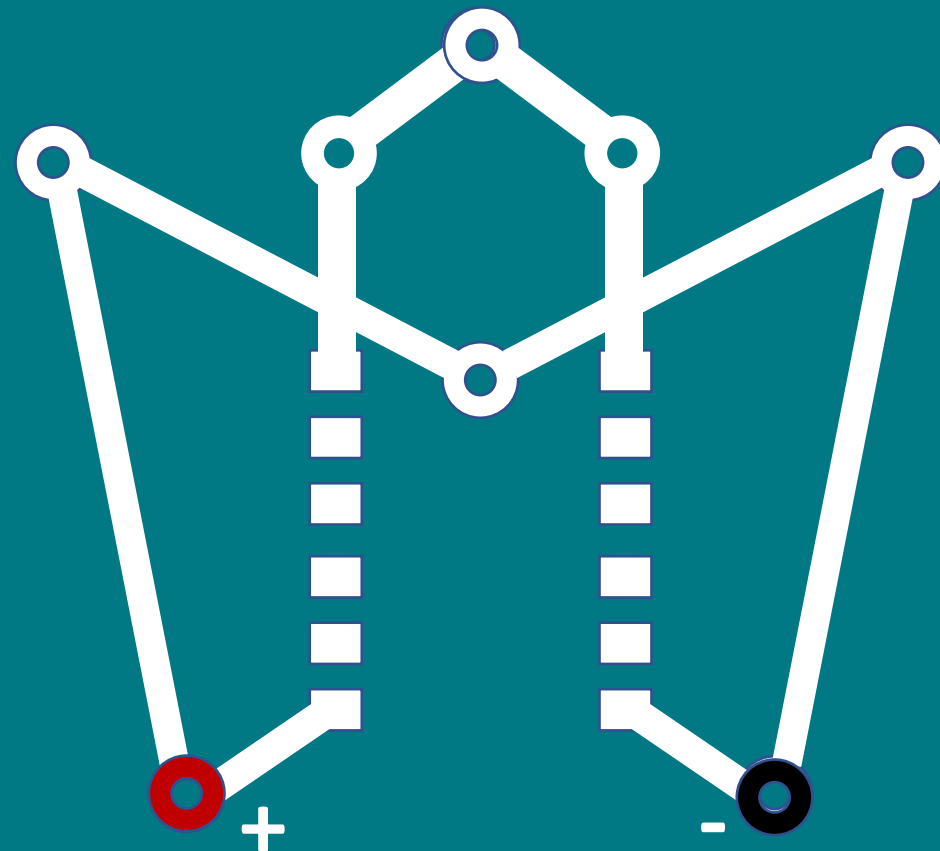


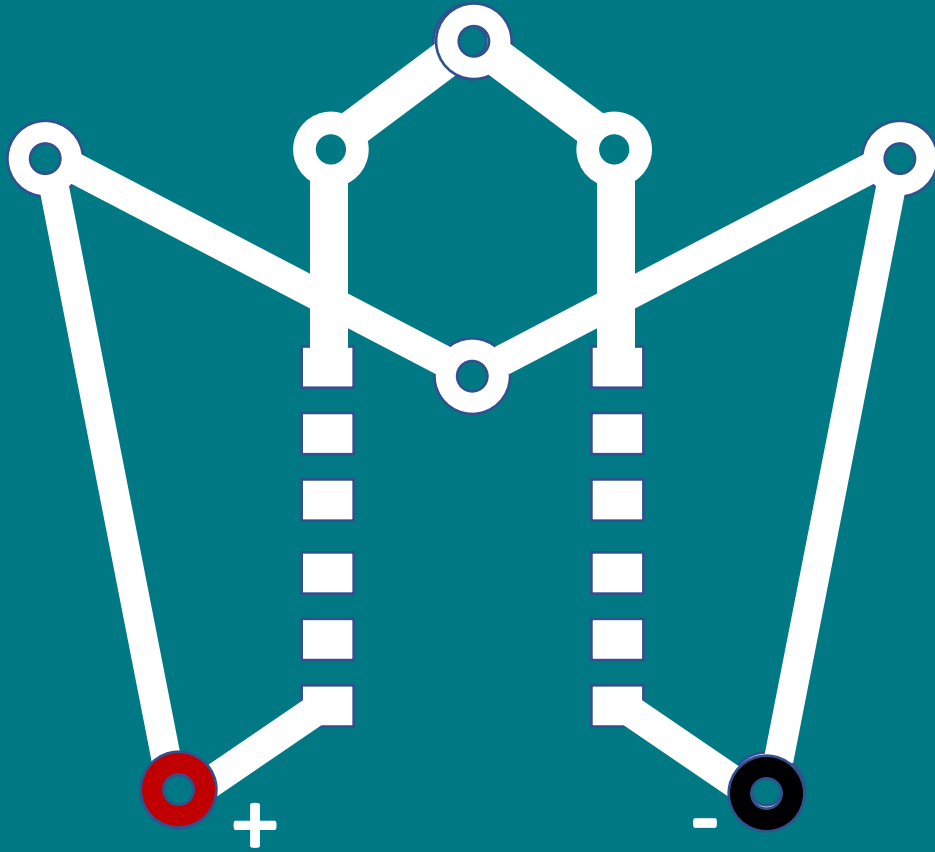
Dronovi i Internet stvari

Prof. dr Marko Simeunović, *MoDrone CTO*



MODRONE

Shapes the future of innovation




MODRONE

Shapes the future of innovation

Sadržaj

1. Osnovni pojmovi
2. Kontrola kretanja
3. Osnovni gradivni elementi
4. Senzorika
5. Fuzija senzorskih podataka
6. Komplementarno filtriranje
7. Kalmanov filter
8. Zaključci

Osnovno o dronovima

- **Dronovi** – беспилотне летјелце/системи способни за аутомно или даљински контролисано обављање летаčkih активности.
- Visok stepen prilagodljivosti aplikacijama u pogledu dodataka kao što su kamere, senzore, dostavni mehanizmi, itd.
- Primjene:
 - poljoprivreda,
 - logistika,
 - vojska,
 - monitoring životne sredine, itd.



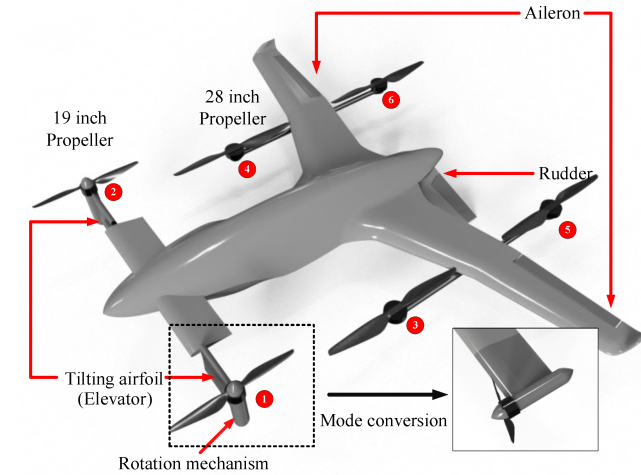
Podjela dronova prema veličini:

- **Nano i mikro dronovi:**
 - veličina: do 50 cm, težina do 2 kg;
 - primjena: edukacija, hobi, nadzor u zatvorenim prostorima, inspekcija malih površina.
- **Mali dronovi:**
 - veličina: 50cm–2m, težina 2–25kg;
 - primjena: poljoprivreda, građevinski pregledi, geodetsko snimanje.
- **Srednji i veliki dronovi:**
 - veličina: veći od 5m, težina preko 25kg.
 - primjena: vojska, teški industrijski zadaci i logistika.



Podjela dronova prema funkcionalnosti i autonomiji:

- **Prema funkcionalnosti:**
 - dronovi sa fiksnim krilima – velika autonomija leta, koriste se pri mapiranju terena i nadgledanju;
 - dronovi sa propelerima – vertikalno uzletanje i sletanje;
 - hibridni dronovi – kombinacija prethodna dva.
- **Prema autonomiji:**
 - manuelni;
 - polu-autonomni;
 - potpuno autonomni.



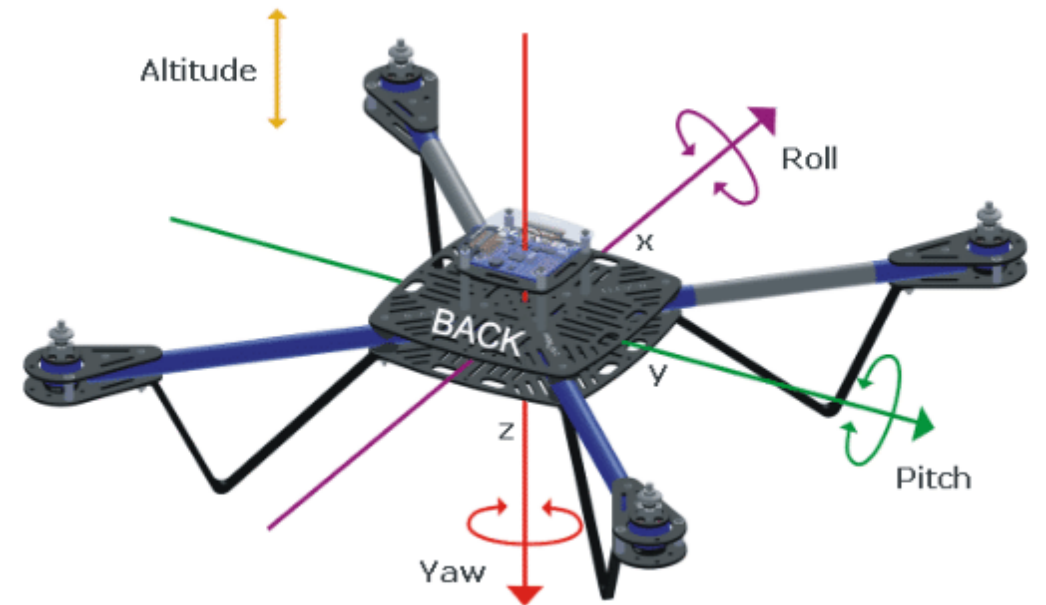
Fizički zakoni primjenljivi na dronove

- Njutnovi zakoni kretanja:
 - **I Njutnov zakon** - dron ostaje u stabilnom letu (lebdenju ili kretanju konstantnom brzinom) sve dok na njega ne deluje neka spoljašnja sila;
 - **II Njutnov zakon** - ubrzanje drona je proporcionalno rezultujućoj sili koja deluje na njega i obrnuto proporcionalno njegovoj masi.
 - **III Njutnov zakon** - propeleri guraju zrak prema dolje, stvarajući uzgon drona prema gore.
- Bernoulijev princip:
 - kada se brzina fluida (vazduha) poveća, pritisak opada.
 - razlika u brzini vazduha iznad i ispod propelera stvara razliku u pritisku, podižući dron.

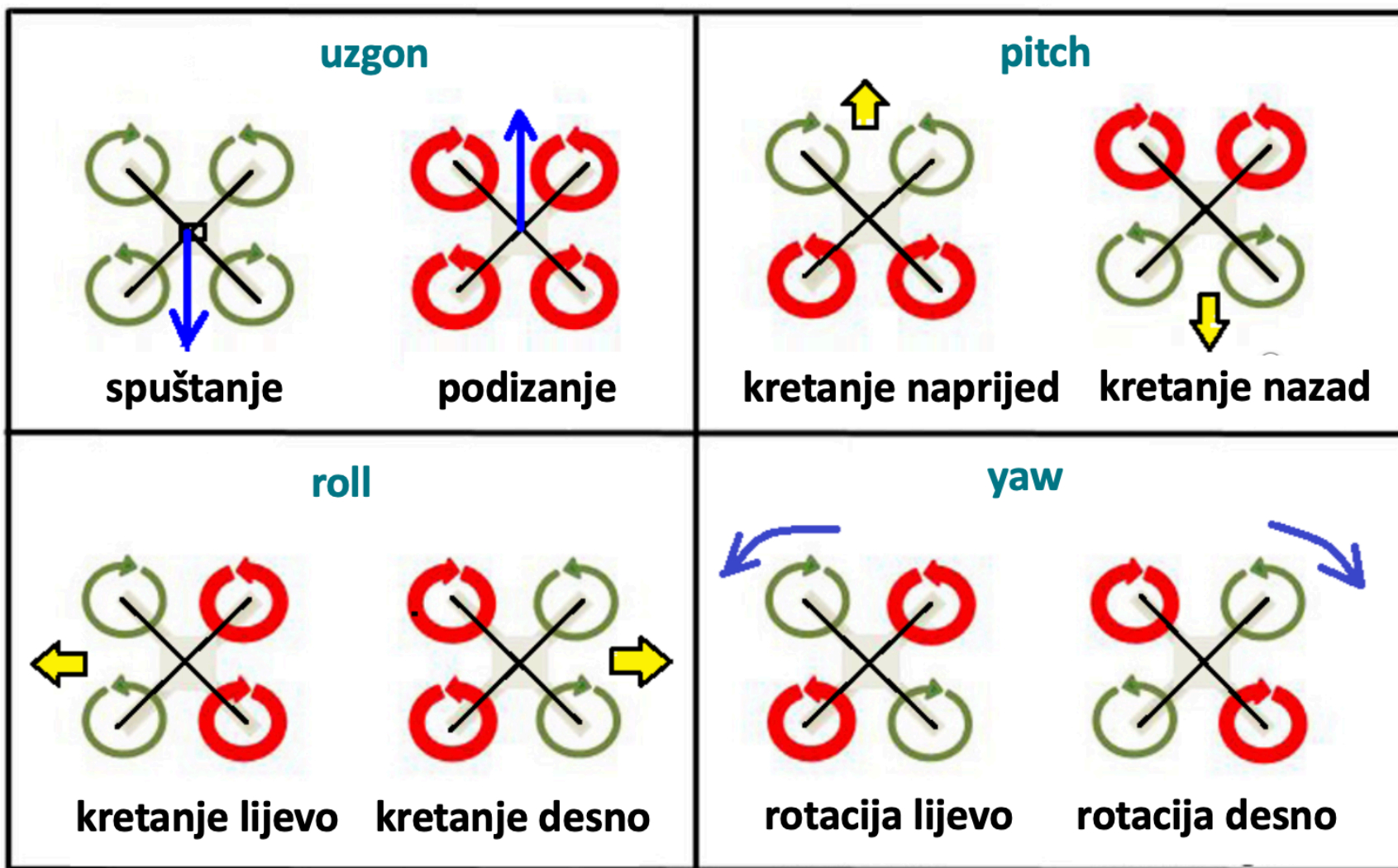


Kontrola kretanja drona

- Pitch (kretanje napred/nazad)
 - postiže se promjenom brzine prednjih i zadnjih propelera.
- Roll (kretanje levo/desno)
 - kontroliše se podešavanjem brzine propelera sa lijeve i desne strane.
- Yaw (Rotaciono kretanje)
 - podešavanjem smjera rotacije dijagonalnih propelera.
- Kontrola visine
 - variranje brzine svih propelera jednako.



Upravljanje dronom



Stabilizacija drona

- Ugrađeni senzori:
 - omogućavaju praćenje ubrzanja, rotacije, nagiba, brzine i putanje drona.
- Softverska stabilizacija:
 - PID kontroleri prilagođavaju brzinu propelera sa ciljem održavanja ravnoteže, dok autopiloti isključuju intervenciju pilota.
- Fizički dizajn:
 - dizajn propelera i rama utiču na optimalnu raspodjelu potiska i smanjivanje vibracija.



Tehnike stabilizacije drona

- Aktivne korekcije:
 - kompenzacija efekata vjetra je moguća na osnovu dodatno ugrađenih senzora;
 - ugrađeni prigušivači absorbiraju vibracije uzrokovane propelerima i motorima.
- Aktivnosti pilota
 - složeni eksplatacioni uslovi često zahtjevaju manuelne akcije potpomognute vizuelnim sensorima.

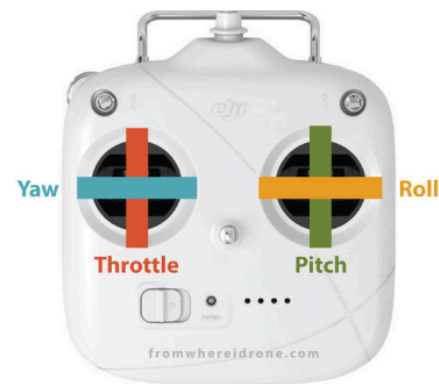
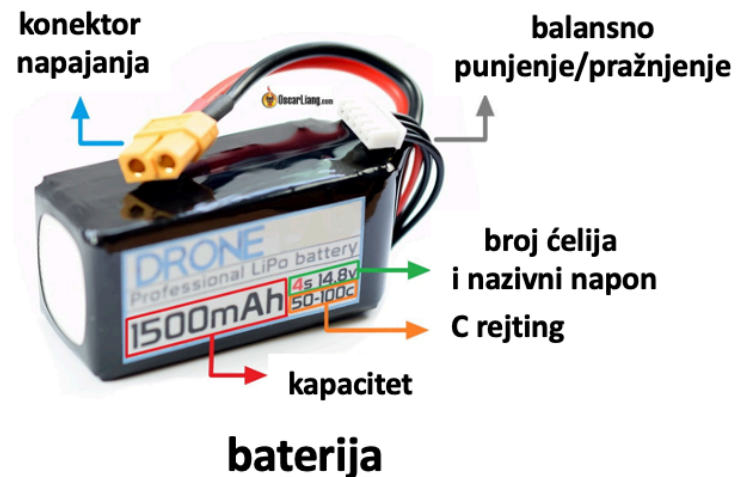
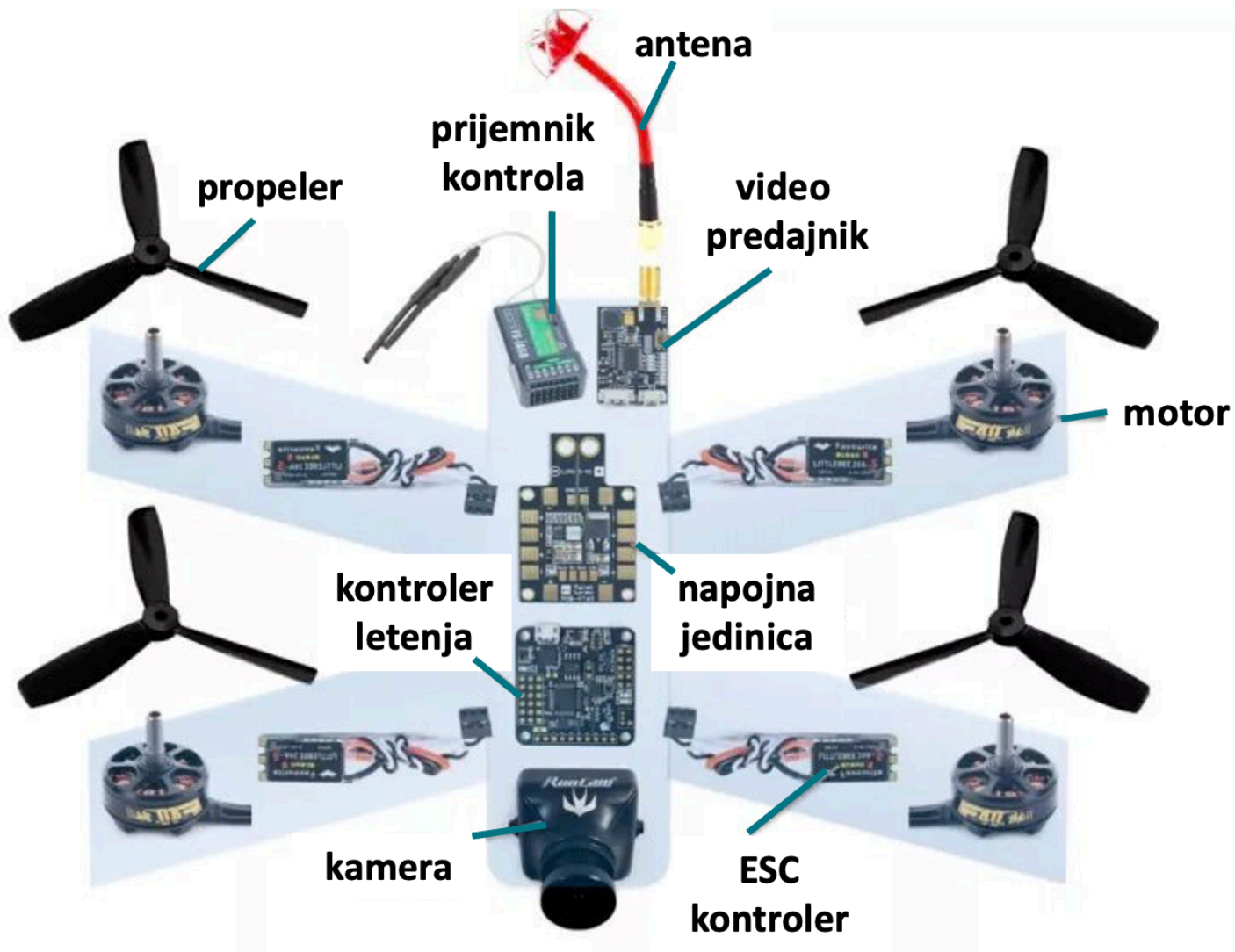


Kontrola dronova

- Manuелna kontrola:
 - pilot koristi RC daljinski upravljač ili tablet.
- Autonomni letovi:
 - ruta leta je unaprijed određena i dron koristi GPS senzor za navigaciju;
 - cesto se koriste algoritmi vještačke inteligencije za izbjegavanje prepreka i donošenje odluka.
- Modovi leta:
 - stabilized mode;
 - održavanje visine;
 - GPS hold.



Osnovni dijelovi drona

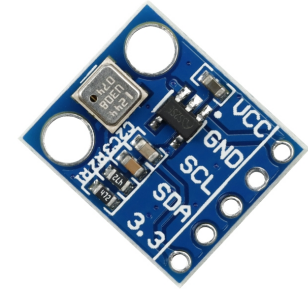
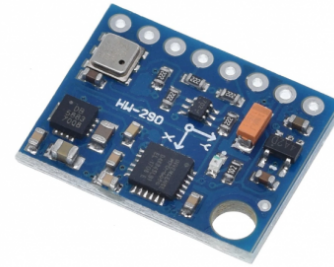


RC kontroler



Senzori

- IMU inercijalni senzori
- GPS
- Barometar
- Ultrasonični senzori
- LIDAR
- Kamere



Fuzija senzorskih podataka

- Zašto se radi fuzija podataka?
- Popularne tehnike:
 - Kalmanov filter;
 - komplementarno filtriranje.
- Primjer upotrebe:
 - globalno pozicioniranje;
 - izbjegavanje prepreka;
 - prilagođavanje leta vremenskim uslovima;
 - unapređena stabilnost i kontrola drona.



Fuzija senzorskih podataka

- Izbegavanje prepreka:
 - kombinovanje podataka sa LiDAR-a, ultrazvučnih senzora i kamera kako bi se u realnom vremenu otkrile i izbjegle prepreke.
- Optimizacija putanje:
 - koriste se GPS i IMU podaci za izračunavanje najefikasnijih ruta.
- Unapređenje stabilnosti:
 - PID kontrola u kombinaciji sa fuzijom podataka osigurava stabilnost drona čak i u turbulentnim uslovima.
- Mehanizam povratne sprege:
 - kontinuirana ažuriranja sa senzora usavršavaju kretanje i navigaciju.



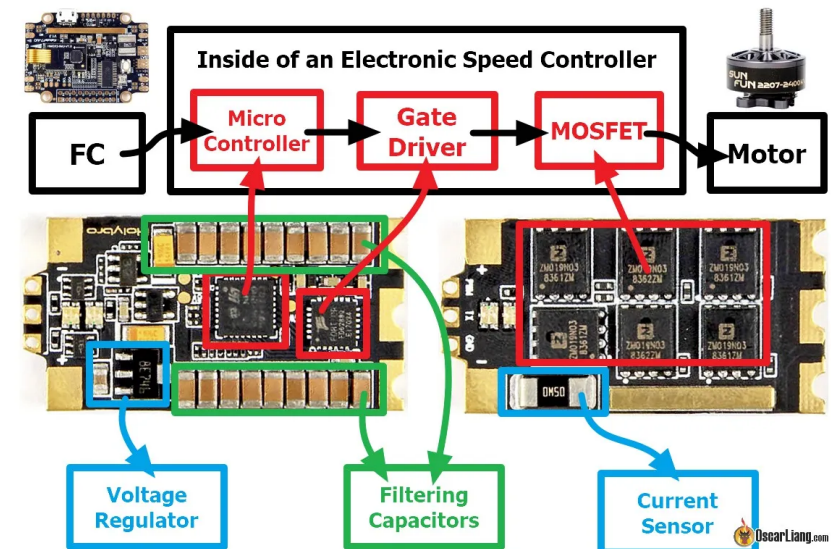
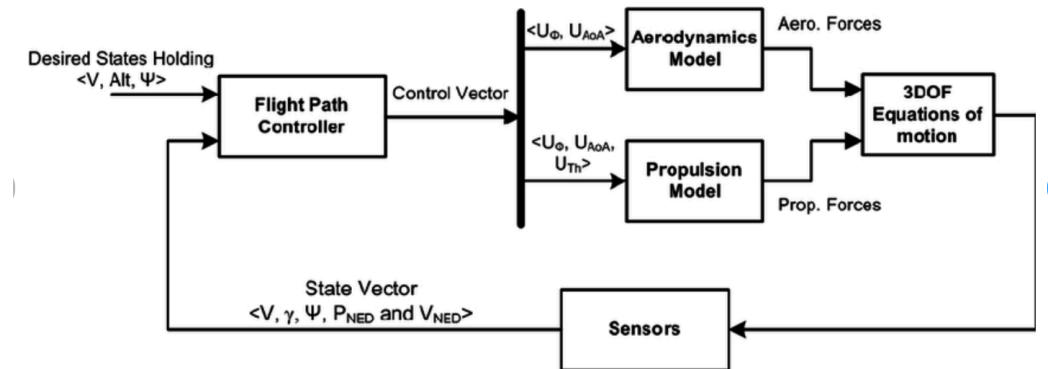
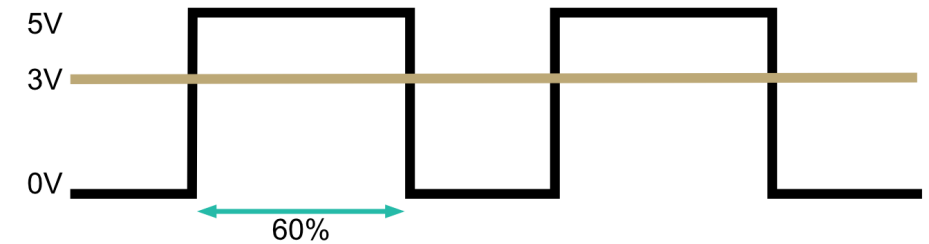
Obezbjeđivanje stabilnosti leta

- **Cilj:** Precizno kretanje drona integracijom podataka sa senzora.
- Ključni senzori:
 - IMU: ubrzanje i ugaona brzina - dinamička stabilnost;
 - GPS: tačnost lokacije i planiranje trajektorije;
 - Barometar: precizno prilagođavanje visine u realnom vremenu.
- Proces:
 1. akvizicija podataka u realnom vremenu;
 2. kontroler leta obrađuje podatke;
 3. dinamička korekcija leta.



Kontrola motora

- PWM (modulacija širine impulsa):
 - regulacija brzine motora.
- kontrola zatvorene petlje:
 - sistemi povratne sprege dinamički prilagođavaju brzinu motora radi stabilnosti.
- ESC (elektronski regulator brzine):
 - pretvara signale male snage u visokonaponski pogon za motore.



Komplementarno filtriranje

Karakteristika	Žiroskop	Akcelerometar
mjerna veličina	ugaona brzina ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$)	linearno ubrzanje (a_x, a_y, a_z)
primarna upotreba	procjena promjene ugla na kratkom vremenskom intervalu (roll, pitch, yaw)	dugoročna procjena nagiba (roll, pitch)
prednost	glatko i brzo reaguje na promjene u dinamici kretanja	apsolutna referenca za gravitaciju
ograničenje	drift tokom vremena, nema apsolutnu referencu	veliki šum, ne može da mjeri yaw



Komplementarno filtriranje – inicijalizacija algoritma

- Ulazi:
 - podaci žiroskopa, ugaone brzine ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) u rad/s;
 - podaci akcelerometra, ubrzanja (a_x, a_y, a_z) u m/s²
- Izlazi:
 - roll ϕ i pitch θ .
- Parametri algoritma:
 - težinski faktor filtra $\alpha = 0,98$ i period odabiranja Δt .
- Inicijalno stanje:
 - $\phi_{prev} = 0$ i $\theta_{prev} = 0$;



Komplementarno filtriranje – procjena parametara

- Estimacija orijentacije na bazi akcelerometra:

$$\phi_{accel} = \arctan \left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}} \right)$$

$$\theta_{accel} = \arctan \left(\frac{-a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \right)$$



Komplementarno filtriranje – procjena parametara

- Estimacija promjene orijentacije na bazi žiroskopa:

$$\phi_{gyro} = \phi_{prev} + \omega_x \Delta t$$

$$\theta_{gyro} = \theta_{prev} + \omega_y \Delta t$$

- Fuzija estimata:

$$\phi = \alpha \phi_{gyro} + (1 - \alpha) \phi_{accel}$$

$$\theta = \alpha \theta_{gyro} + (1 - \alpha) \theta_{accel}$$



Kalmanov filter - promjenljive

- Kalmanov filter se koristi za procjenu stanja sistema na osnovu:
 - modela sistema i
 - mjerenja sa senzora uz pretpostavku tipa šuma.

- Vektor stanja sistema u trenutku k :

$$\mathbf{x}_k = [x, y, z, v_x, v_y, v_z, \phi, \theta, \psi]^T$$

- (x, y, z) – pozicija u 3D prostoru;
- (v_x, v_y, v_z) – brzine;
- (ϕ, θ, ψ) – orijentacija.



Kalmanov filter - promjenljive

- Kontrolni ulaz – dejstvo spoljne sile (npr. potisak motora):

$$\mathbf{u}_k = [a_x, a_y, a_z]^T$$

- (a_x, a_y, a_z) - ubrzanja sa IMU.

- Dinamička matrica sistema – evolucija iz jednog u drugo stanje:

$$\mathbf{F}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \Delta t - \text{korak odabiranja.}$$



Kalmanov filtar - promjenljive

- Kontrolna matrica – mapira kontrolni ulaz \mathbf{u}_k u promjene stanja sistema:

$$\mathbf{B}_k = \begin{bmatrix} \Delta t^2/2 & 0 & 0 \\ 0 & \Delta t^2/2 & 0 \\ 0 & 0 & \Delta t^2/2 \\ \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- Vektor podataka sa senzora:

$$\mathbf{z}_k = [x_{GPS}, y_{GPS}, z_{BAR}, v_x, v_y, v_z]^T$$



Kalmanov filter - promjenljive

- Mjerna matrica – mapira \mathbf{x}_k u očekivana mjerenja:

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- Kovarijansne matrice šumova:

- šum usljed dinamike sistema:

$$\mathbf{Q}_k = \text{diag}([0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.001, 0.001, 0.001])$$

- šum senzora:

$$\mathbf{R}_k = \text{diag}([2, 2, 2, 0.1, 0.1, 0.1])$$



Kalmanov filter - algoritam

- Korak 1 - inicijalizacija stanja:
 - \mathbf{x}_0 - inicijalno stanje;
 - \mathbf{P}_0 - inicijalna kovarijansna matrica

- Korak 2 - predikcija:

- predikcija stanja:

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}_k \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k$$

- predikcija greške:

$$\mathbf{P}_k = \mathbf{F}_k \mathbf{P}_{k-1} \mathbf{F}_k^T + \mathbf{Q}_k$$



Kalmanov filter - algoritam

- Korak 3 - ažuriranje:

- ažuriranje Kalmanovog koeficijenta:

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_k \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_k \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1}$$

- ažuriranje estimacije stanja:

$$\mathbf{x}_k = \hat{\mathbf{x}}_k + \mathbf{K}_k (\mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_k)$$

- ažuriranje kovarijanse:

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_k$$

- Korak 4 – povavljanje koraka 3 za svako k .



Zaključak

- Perspektive za budućnost:
 - Integracija sa veštačkom inteligencijom za pametniju navigaciju;
 - Inovacije u tehnologiji baterija za duže vrijeme leta;
 - Široka primjena u industriji i svakodnevnom životu.
- Ključni zaključci:
 - Dronovi predstavljaju spoj fizike, elektronike i računarskih tehnologija;
 - Podaci senzora i kontrola motora su ključni za njihovo efikasno funkcionisanje.



Hvala na pažnji!



MODRONE

Shapes the future of innovation