

Applications of marine vehicles

1. What types of classifications of marine vehicles are you familiar with?

Postoji više tipova podjele pomorskih plovila.

Najjednostavnija podjela:

- Brod - bilo koje veliko plovilo koje je u stanju prelaziti otvorene vode (danas više od 500 t istisnine)
- Podmornica - bilo koje plovilo koje je u stanju zaroniti ispod površine, jednako kao i iznad (sadrži posadu)
- Podvodno vozilo - malo vozilo koje je u stanju zaranjati i izranjati, uključuje UUV, ROV, AUV, URV

Klasifikacija prema Froude-ovom (frudovom) broju:

$$F_n = \frac{U}{\sqrt{gL}}$$

U - brzina plovila (m/s), L - duljina plovila na vodi (m), g - gravitacija.

Podjela:

- Deplasmanska plovila: $F_n < 0.4$, sila uzgona dominira
- Polu-deplasmanska plovila: $0.4 - 0.5 < F_n < 1.0 - 1.2$, sila uzgona ne dominira pri kretanju max brzinom
- Gliserska plovila: $F_n > 1.0 - 1.2$, hidrodinamička sila nosi svu težinu

Podjela prema mediju koji okružuje vozilo:

- podvodna vozila (UV - underwater vehicle)
- površinska vozila (SV - surface vehicle)

Podjela prema posadi na brodu:

- plovilo s posadom
- plovilo bez posade:
 - * bezposadno podvodno vozilo (UUV - unmanned underwater vehicles)
 - daljinsko upravljana vozila (ROV - remotely operated vehicle)
 - autonomna podvodna vozila (AUV - autonomous underwater vehicle)
 - * besposadno površinsko vozilo (USV - unmanned surface vehicles) ili autonomno površinsko vozilo (ASV)

2. What are the advantages/disadvantages of ROVs/AUVs?

ROV - prednosti:

- neograničeno napajanje
- prijenos signala u stvarnom vremenu i prijam na površinskoj stanici
- smanjena potreba za sigurnošću - "human in the loop"

ROV - nedostaci:

- malo područje djelovanja - ograničena komunikacija ("point-to-point")
- svako plovilo mora imati bar jednog operatera za vrijeme cijele misije

AUV - prednosti:

- mogućnost izvođenja monotonih i dugih misija bez utroška radne snage
- područje djelovanja ovisi o količini snage
- mogućnost prikrivenog djelovanja

AUV - nedostaci:

- ograničeno napajanje
- video prijenos nije moguć pod vodom
- potrebni su kompleksni algoritmi za potpunu autonomnost (rješenja za neočekivane probleme)

3. Name three applications of marine vehicles.

- utovar, istovar, dostava, prijevoz putnika
- istraživanje oceana, ekologija/biologija (2 od 18 milijuna vrsta poznato)
- arheologija
- rudarstvo, naftno rudarstvo
- uzgoj morskih plodova

Acoustic communication

4. Name three challenges in underwater acoustics.

- atenuacija - povećava se s frekvencijom
- višestruki smjerovi dolaznog signala (multipath) - zbog refleksije
- latencija
- varijacija brzine zvuka (1500 m/s) - mijenja se ovisno o temperaturi, tlaku, salinitetu
- Dopplerov efekt
- okolni šum

5. Which actuators/technologies are used for underwater sound generation?

- Piezoelektrična keramika
- Magnetostriktivni aktuatori
- Elektrostatski aktuatori
- Elektromagnetski aktuatori

6. What happens during simultaneous transmission from multiple acoustic sources? Why?

- Interferencije - ako je više signala na istoj frekvencije tada ovisno o njihovoj fazi dolazi do konstruktivne ili destruktivne interferencije

7. How can interferences in acoustic communication be avoided?

- Postavljanje uređaja na drugačije frekvencije koje nisu međusobni višekratnici

8. What communication modalities are appropriate in water and what are their characteristics?

- interrogation scheme
 - * jednostavna implementacija
 - * mali broj robota
 - * master inicira komunikaciju - nema kolizija
- MAC protokol (Medium Access Control)
 - * TDMA (Time-division multiple access)
 - jednostavna implementacija
 - mreže na velikoj skali - ograničena upotreba kanala
 - višestrukost signala - izazovna usklađenost taktova
 - * FDMA (Frequency-division multiple access)
 - uska širina pojasa kod podvodnih akustičnih kanala
 - osjetljiv na slabljenje i višestrukost (multipath) signala
 - * CDMA (Code-division multiple access)
 - kompleksna implementacija
 - simultani prijenos bez kolizija
 - velika širina pojasa
 - * ALOHA
 - nema prevencije kolizije
 - random-access method - agneti šalju podatke kad god

Sensors

9. What are the common components of an INS (Inertial Navigation System)?

- višekomponenti sustav za navigaciju
 - * akcelerometri
 - * žiroskop
 - * estimator
- estimira poziciju, orijentaciju i brzinu
 - * dead-reckoning
- pomoćni senzori (MEMS, GNSS): magnetometri, tlakomjeri, mjerači brzine, geofizički senzori
- podmornice, brodovi, svemirske letjelice, rakete

10. How is localization achieved underwater?

- USBL - ultrashort baseline
- SBL - short baseline
- LBL - long baseline

11. Describe a doppler velocity logger sensor. What are common sources of error in DVL sensors?

Karakteristike:

- akustični senzor za mjerenje brzine - vodena masa ili dno
- sastoji se od 2-10 akustična pretvarača za naizmjenično mjerenje (najčešće 4 u krug, međusobno nagnuti za 25 °)
- dopplerov pomak se proračunava u brzinu (brzina zvuka, tlak, salinitet i temperatura)

Nedostaci:

- bias
- netočna brzina zvuka
- neusklađenost
- prolazni, nasumični šum

12. What is the crucial work principle and applications of sonars?

- SOund, NAvigation, and Ranging
- detekcija, lociranje objekata i mjerenje udaljenosti - odašiljanje zvučnih valova
- ratovanje protiv podmornica, detekcija mina, mjerenje dubine, batimetrija, mapiranje morskog dna, komercijalno ribarstvo, komunikacija

13. How are sonars classified?

- dubinomjer (echosounder)
- multibeam
- imaging
- bočno skeniranje (side-scan)

14. Is an echosounder an efficient sensor for large-scale bathymetry surveys? Why?

Nije efikasan za mjerenje u batimetriji - potrebno je snimiti puno mjerenja kako bi se dobila kompletna površina, a to često prelazi određeno razumno vrijeme.

15. What is the working principle of imaging sonars, and what types exist?

Karakteristike:

- estimacija refleksije za sve raspone u određenim smjerovima
- vidno polje - zadano kao kutna širina pojedinog elementa
- kutna (azimutska) rezolucija - zadana kao duljina niza izmjerena u valnim duljinama
- rezolucija raspona - zadana je kao širina pojasa sustava

Tipovi:

- Forward-Looking Vertical 2D
- Forward-Looking Horizontal 2D
- Forward-Looking 3D
- na LABUST-u se koristi ARIS

16. How does frequency affect range/resolution?

Veća frekvencija → manji raspon, ali brži prijenos podataka.

Veća površina za pokriti → manja frekvencija.

17. How does the side-scan sonar work?

- umjesto dubine, otkriva informacije o kompoziciji tla
- odaslani val se raspršuje po dnu i vraća se znatno slabiji u više navrata

18. What is the difference between MBES, FLS and SSS imagery?

Multibeam Echo Sonar

- mapira više od jedne lokacije u jednom mjerenju
- nije idealan za mjerenje dubine

Forward Looking Sonar

- estimacija refleksije za sve raspone u određenim smjerovima
- mehaničko pomicanje horizontalno ili vertikalno

Side-Scan Sonar

- umjesto dubine, otkriva informacije o kompoziciji tla
- odaslani val se raspršuje po dnu i vraća se znatno slabiji u više navrata

Mathematical modelling

19. Define coordinate systems and notation used in describing marine vehicles.

Koordinatni sustavi i notacija

E - earth fixed, B - body fixed

$$\nu_B = [u, \quad v, \quad w, \quad p, \quad q, \quad r]$$

$$\eta_E = [x, \quad y, \quad z, \quad \phi, \quad \theta, \quad \psi]$$

$$\tau_B = [X, \quad Y, \quad Z, \quad K, \quad M, \quad N]$$

DOF	napredovanje (surge)	zanošenje (sway)	zaranjanje (heave)	ljuljanje (roll)	naginjanje (pitch)	zaošijanje (yaw)
brzine	u	v	w	p	q	r
pozicije i kutevi	x	y	z	φ	θ	ψ
sile i momenti	X	Y	Z	K	M	N

20. What is a kinematic and dynamic model and what are the inputs and outputs?

Kinematički model

- Veza između brzina (mobilni koordinatni sustav) i pozicija (fiksni koordinatni sustav).
- Ulazi: brzine gibanja
- Izlazi: pozicija i orijentacija

Model:

$$\begin{bmatrix} {}^E \dot{\eta}_1 \\ {}^E \dot{\eta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_1({}^E \eta_2) & \mathbf{0}_{3 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{J}_2({}^E \eta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^B \mathbf{v}_1 \\ {}^B \mathbf{v}_2 \end{bmatrix}$$

Dinamički model

- Nelinearan i spregnut matematički model
- Dodana masa, Coriolisovi učinci, povratne sile, hidrodinamičko prigušenje, poremećaji
- Ulazi: sile i momenti
- Izlazi: brzine gibanja

Model:

$$M_{RB}\dot{\nu} + C_{RB}\nu = {}^B\tau_{RB}$$

$${}^B\tau_{RB} = {}^B\tau_{hyd} + {}^B\tau_E + {}^B\tau$$

$${}^B\tau_{hyd} = {}^B\tau_A + {}^B\tau_D + {}^B\tau_R = (-M_A\dot{\nu} - C_A\nu) + (-D\nu) + (-g)$$

$$(M_{RB} + M_A)\dot{\nu} + (C_{RB} + C_A)\nu + D\nu + g = \tau_B + \tau_E$$

21. What is control allocation and what are the inputs and outputs?

Alokacija

- Veza između sila generiranih upravljačkim uređajima te sila i momenata koji djeluju na tijelo
- Ulazi: sile izvršnih organa (aktuatora)
- Izlazi: sile i momenti na kruto tijelo

22. What are the inputs and outputs of a thruster model and which thruster models are common?

Aktuatori

- Ulazi: upravljački naponi
- Izlazi: sile izvršnih organa (aktuatora)

Potisnici

- fiksirani (fixed)
 - * standardni potisnici za brodove (spoj osovine i zupčanika na motor)
 - * najčešći i u robotici
 - hidraulični za radna vozila
 - električni za inspekciju ili mala vozila
- azimutski
 - * može se rotirati 360°
 - * glavni ili manevarski pogon
 - * varijacije
 - gurajući/potiskivajući, otvoreni/kanalizirani
 - fiksirano/upravljivo nagnjanje
 - upravljan joystickom (podged) ili klasična osovina i zupčanici
- Voith-Schneider
 - * može generirati vektorski pritisak
 - * obično glavni pogon
 - * tegljači i na otvorenom moru

23. Which forces act on the rigid body?

Sile na kruto tijelo

- hidrodinamičke sile
 - * sile dodane mase
 - * sile otpornosti
 - * povratne sile
- vanjske sile
- pobudne sile

24. What is an uncoupled dynamic model of a marine vehicle?

Nespregnuti model za ronilice

surge DOF

$$(m - X_{\dot{u}})\dot{u} - (X_u + X_{u|u}|u|)u = X + \tau_{XE}$$

sway DOF

$$(m - Y_{\dot{v}})\dot{v} - (Y_v + Y_{v|v}|v|)v = Y + \tau_{YE}$$

heave DOF

$$(m - Z_{\dot{w}})\dot{w} - (Z_w + Z_{w|w}|w|)w = Z + \tau_{ZE}$$

yaw DOF

$$(I_z - N_{\dot{r}})\dot{r} - (N_r + N_{r|r}|r|)r = N + \tau_{NE}$$

25. How does the rank of an allocation matrix indicate the level (over/fully/under) of actuation?

Matrica alokacije

- definirana - geometrijskim rasporedom rotora i fizičkim parametrima pogona
- rang određuje je li konfiguracija nedovoljno ili potpuno aktivirana
- puni rang - (fully) upravljiva u svim stupnjevima slobode
- nepuni rang - (under) nije upravljiva u svim stupnjevima slobode
- iznad punog ranga - (over) više mogućih rješenja

26. Name a few actuators in marine vehicles.

Aktuatori

- Propulzori
- Kormila i krilca
- Masa

Control of marine vehicles

27. Difference between course and heading?

Kurs

Kut (χ) između x-osi i vektora brzine vozila. Predstavlja smjer prema kojem se giba vozilo i nije definiran kada vozilo miruje.

$$\chi = \psi + \beta$$

Heading

Kut zaošijanja (ψ). Predstavlja smjer prema kojem vozilo "gleda" i uvijek je definiran.

28. How are nonlinearities in the model handled when designing a nonlinear controller?

– nelinearnosti se rješavaju limiterima

29. Why is anti-windup needed in control?

Anti-windup se koristi jer osigurava točan i brz odziv modela na referencu bez nadvišenja.

30. What are the inputs and outputs of low-level controllers (e.g., yaw-rate)?

Ulazi u low-level kontrolere su reference, npr. za yaw-rate je r_{ref} , a npr. za heading je ψ_{ref} .

Guidance of marine vehicles

31. What are common inputs and outputs for guidance controllers?

Kontroleri za vođenje (guidance)

- uobičajeno imaju strukturu na dvije razine, odnosno imaju kontroler brzine (speed) i line-following ili dynamic-positioning kontroler.

Ulazi

- η^*
- ν^*

Izlazi

- τ

32. Describe a dynamic positioning controller.

Kontroler za dinamično pozicioniranje (dynamic positioning)

- Proračunava rezultantnu silu potisnika kako bi plovilo zadržalo zadanu poziciju i heading.

33. Describe a line-following controller?

Kontroler za praćenje zadane linije (line-following)

- PD controller s kojim se uz pomoć yaw-rate kontrolera realizira praćenje zadane linije.

34. What are the benefits of cascade control loop?

Kaskadno upravljanje

- Omogućuje bolju kompenzaciju poremećaja zbog razlike u dinamici vanjskog i unutarnjeg kruga.
- Unutarnji krug ima bržu dinamiku

Navigation of marine vehicles

35. Why do we need state estimation in general?

Estimacija stanja

- koristi se za rješavanje problema šuma koji djeluje na proces i mjerenja
- kako bi se iskoristila *a priori* znanja kako bi upravljanje bilo što točnije

36. What kind of estimators are commonly used in marine systems?

Klasifikacija estimatora

- linearni i nelinearni
- deterministički i stohastički
- najčešći: Kalmanov filtar (KF) i prošireni Kalmanov filtar (EKF)

37. What are outliers and how are they handled?

Outlier

- dio mjerenja koji se znatno razlikuje od ostatka
- najčešće zbog pogreške senzora
- rješenje:
 - * smanjiti utjecaj varijance R na potencijalne outlier-e
 - * predfiltriranje mjerenja s :
 - fizičkim ograničenjima
 - medianon (kašnjenjem)
 - margina kovarijance ($R + P + 25\%$)

38. What is the benefit of using RTS smoother?

RTS smoother (Rauch-Tung-Striebel)

- sastoji se od unaprijedne estimacije s KF-om i unazadnom filtriranja s dodatnim KF-om
- smanjenje nesigurnosti
- ne pridonosi kvaliteti kontrole već naknadno obrađuje dio mjerenja

39. What models are commonly used for EKF estimation in marine systems?

Tipični modeli

- dinamički modeli (npr. širenje filtra u distance keeping)
- kinematički modeli (npr. relativna kinematika u distance keeping)
- modeli za praćenje

40. How are multiple measurements of the same value fused inside the EKF?

- Ponovljena mjerenja daju veću sigurnost, odnosno smanjuje se matrica kovarijanci P