

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūrų technikos fakultetas

Laivo inžinerijos katedra

Evaldas Narušis

**MAŽAGABARITIS PLAUKIOJANTIS  
AUTONOMINIS APLINKOS TYRIMŲ  
ĮRENGINYS 2**

Laivų projektavimo studijų programos  
Magistro baigiamasis darbas

Klaipėda, 2012

Evaldas Narušis

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Mažagabaritis plaukiojantis autonominis aplinkos tyrimų įrenginys 2

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

**Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.**

Evaldas Narušis

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

**Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.**

Evaldas Narušis

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

**Magistro baigiamąjį darbą ginti**

2012- - .  
(data )

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

Vasilij Djačkov

(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje .....

(data)

.....  
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

**Magistro baigiamąjį darbą ginti** .....

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....  
(data )

.....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

**Recenzentu(-ais) skiriu** .....

.....  
(įrašyti recenzento(u) vardą, pavardę)

.....  
(data )

.....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Narušis E. Mažagabaritis plaukiojantis autonominis aplinkos tyrimų įrenginys 2. Laivų projektavimo ir statybos magistrantūros studijų programos baigiamasis darbas. Darbo vadovas dr. Vasilij Dačkov, Klaipėdos universitetas: Klaipėda 2012.

## **SANTRAUKA**

Mokslinio tiriamojo darbo tikslas yra išanalizuoti autonominių įrenginių judančių vandens paviršiumi autonominio valdymo sistemas. Šiame darbe buvo atlikta sukurtų įrenginių analizė, atskleisti jų trūkumai ir veikimas. Aprašyta įrenginių judančių vandens paviršiumi dinamika. Sukurta metodika intelektualios valdymo sistemos kūrimui. Išanalizuoti komponentai sudarantys autonominio valdymo sistemą. Aprašyti jų veikimo principai, bei sujungimo į vieną sistemą galimybės.

Panaudojant autonominio valdymo sistemos kūrimo metodiką, suprojektuota ir sukurta veikianti sistema katamaranui UBASUV.

**Raktažodžiai** – bepilotis, autonominis, plaukiojantis įrenginys.

Narušis E. Conceptual Design of Unmanned Bathymetry Survey Vehicle 2 . Thesis of ship designand construction masters program. Research leader Dr. Vasilij Djačkov, Klaipeda University: Klaipeda, 2012.

## **SUMMARY**

The aim of the research work is to analyze the autonomous control systems. The analysis of existingequipment is performed and to revealed their weaknesses. The dynamics of moving water surface devices is described. A methodology for building intelligent control system is created. The analysis of the components making up the autonomous management system is made. Described the principles of operation, and interconnectioncapabilities into one system.

Using an autonomous control system design methodology, a working system for UBASUV catamaran is developedand created.

Keywords - Unmanned, autonomous, moving water surface devices.

## UŽDUOTIS

### Laivų projektavimo ir statybos magistrantūros studijų programos baigiamasis darbas

Magistro tezės: **Mažagabaritis plaukiojantis autonominis aplinkos tyrimų įrenginys 2**

Magistrantas: **Evaldas Narušis**

### Darbo sudėtis

1. Titulinis lapas (viršelis)
2. Santrauka
3. Užduotis
4. Lentelių sąrašas
5. Paveikslų sąrašas
6. Turinys
7. Įvadas (problemos analizė)
8. Darbo tikslas ir uždaviniai.
9. Literatūros analizė.
10. Autonominio plaukiojančio įrenginio intelektualios valdymo sistemos sukūrimo galimybių analizė.
  - 10.1. Programinės įrangos analizė ir algoritmų sukūrimas
  - 10.2. Techninė įrangos ir jos taikymo galimybių analizė
11. Natūrinio eksperimento rezultatai ir jų analizė.
12. Išvados
13. Literatūros sąrašas
14. Priedai

Užduotis išduota: 2012.02.05

Darbo vadovas: doc. dr. Vasilij Djačkov

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Laivo laisvės laipsniai	12
3 lentelė. GPS imtuvo charakteristikos	20
2 lentelė. NMEA sakinio elementų reikšmės	21
4 lentelė. Servo pavaros charakteristika	22
5 lentelė. Variklio ir greičio reguliatoriaus charakteristikos	24
6 lentelė. Arduino Duemilanove 328 charakteristikos	24
7 lentelė. Akumuliatorių charakteristikos	27

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Bepiločių įrenginių klasifikacija	6
2 pav. Bepiločių įrenginių pasiskirstymas	7
3 pav. Bepilotis katamaranas <i>Linzbeth</i>	10
4 pav. Laivo koordinačių sistemos [5]	13
5 pav. Laivo zigzago manevras ( $\alpha$ - vairo pasukimo kampas; $\varphi$ - laivo kurso kampas; $\varphi_{in}$ laivo inertiškumo kampas) [3]	16
6 pav. Laivo spiralės manevras [3]	17
7 pav. DGPS veikimo schema ( <a href="http://www.beacon-egypt.com">http://www.beacon-egypt.com</a> )	20
8 pav. Spektrum Dx6i valdymo sistema	21
9 pav. Šepetėlinis ir bešepetėlinis variklis	23
10 pav. Arduino Duemilanove plokštė	25
11 pav. Arduino programinė įranga	25
12 pav. LSM303DHL kompasas	26
13 pav. Principinė komponentų jungimo schema	28
14 pav. Komponentų išdėstymas įrenginyje	28
15 pav. Autonominio judėjimo sistema	31
16 pav. Neveiklumo zonos filtras	32
17 pav. Žemo dažnio filtras	33
18 pav. Maršruto taškų generavimas	34

## TURINYS

<b>IVADAS</b>	5
<b>I. BEPILOČIŲ ĮRENGINIŲ TYRIMO ANALIZĖ</b>	8
<b>II. ĮRENGINIŲ JUDANČIŲ VANDENS PAVIŠIUMI DINAMIKA</b>	12
2.1. Atskaitos sistemos	12
2.2. Valdomumas	14
<b>III. TECHINĖS ĮRANGOS IR JOS TAIKYMO ANALIZĖ</b>	18
3.1. GPS imtuvas	19
3.2. Nuotolinio valdymo sistema	21
3.3. Servo mechanizmai	22
3.4. Varikliai ir greičio reguliatoriai	22
3.5. Arduino Duemilanove 328	24
3.6. Kompasas	26
3.7. Akumuliatoriai	26
3.8. Komponentų montavimas įrenginyje	28
<b>IV. PROGRAMINĖS ĮRANGOS kūrimas IR ALGORITMŲ TAIKYMAS</b>	30
4.1. Autonominio valdymo sistema	30
4.2. Duomenų filtravimas	32
4.3. Autopiloto režimai	33
4.4. UBASUV valdymo sistemai pritaikyti algoritmai	34
4.5. Prototipo natūriniai bandymai	36
<b>IŠVADOS</b>	38
<b>LITERATŪROS SĄRAŠAS</b>	39
<b>PRIEDAI</b>	41

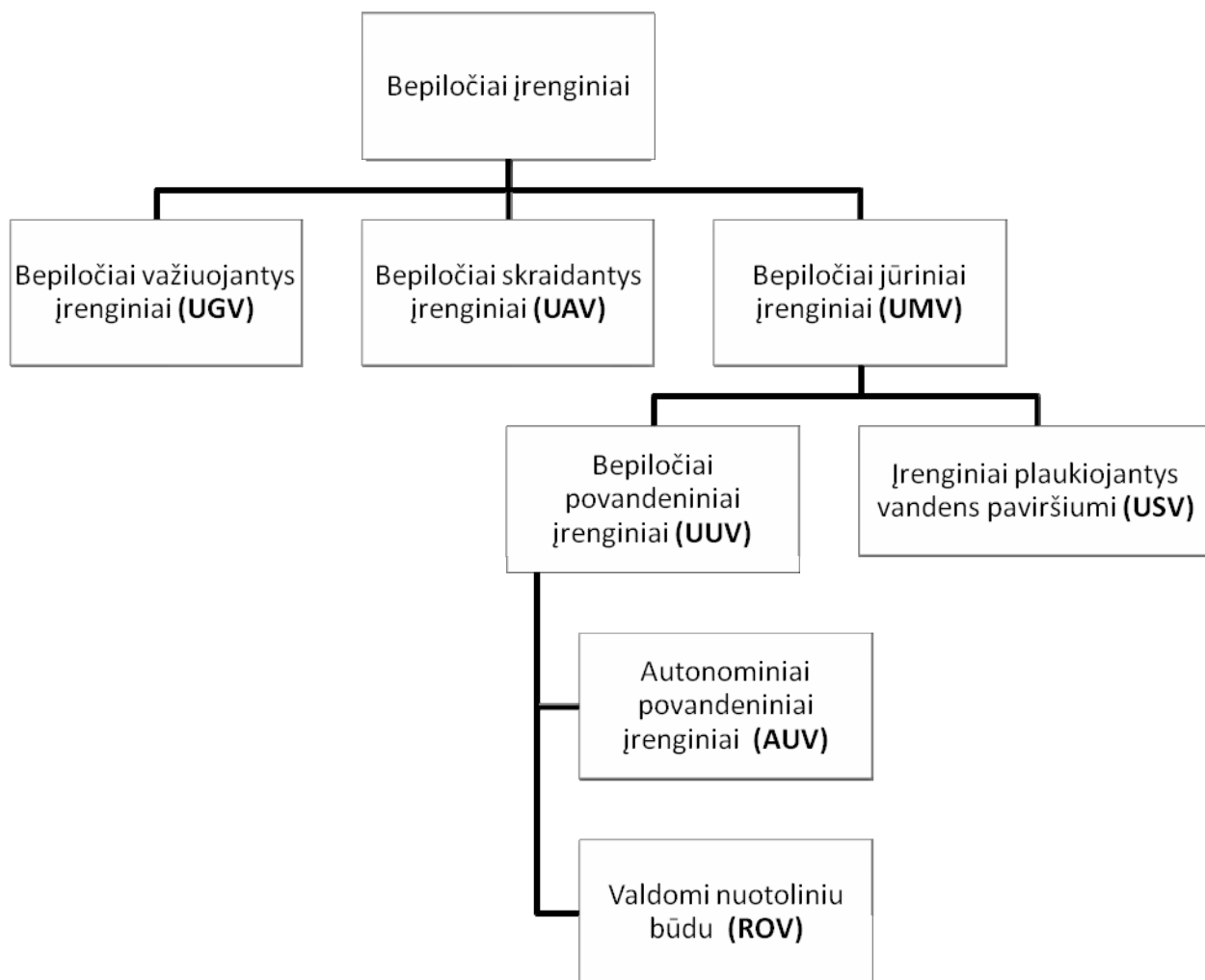
## ĮVADAS

Sparti technologijų raida per pastarąjį dešimtmetį, daro įtaką ir laivybos pramonėje. Kylant darbo jėgos kainoms, siekiama „įdarbinti“ technologijas, kurios gali padidinti darbo našumą, tikslumą atlikti pavojingus darbus. Nors ir Europa yra lyderė tarp inovacijų laivybos pramonėje, pasaulinė krizė 2008 metais, padariusi didelę neigiamą įtaką Europos laivų statytojams, paskatino dar labiau investuoti į naujas technologijas. Tai rodo ir septintosios bendrosios mokslinių tyrimų ir technologijų plėtros programos (BP7) išskirti prioritetai transporto srityje. 2012 metais trečiuoju tikslu yra „Konkurencingumas per inovacijas“. Į šį punktą įeina konkurencingumo didinimas antžeminėje, viršvandeninėje technikoje ir paslaugose, tarp kurių yra nurodyti ir autonominiai laivai.

Pateikta vizija: Mokslinių tyrimų tikslu turėtų būti technologijų skirtų plaukiojančių įrenginių autonomijos didinimui prieinamumo ir pritaikomumo didinimas, ir problemų sprendimui kai yra riboti žmogiškieji ištekliai. Paskutiniu metu ištobulinta ryšių technologija, padidino duomenų perdavimo srautus ir greitį iš laivo į krantą, ši galimybė turėtų būti išnaudota kuriant visiškai naujas inovatyvias ir į gyvavimo ciklą orientuotas koncepcijas didinančias prisitaikymo galimybes, šios technologijos atvertų duris į naują laivo valdymo požiūrį. Į šią veiklą įeina:

- Elektroninių sistemų, skirtų laivybos operacijoms, įtraukiant saugias belaides duomenų perdavimo tarp laivo ir kranto technologijas.
- Kombinuotų kranto ir palydovinių sistemų patikimumo ir panaudojimo galimybių analizė, atsižvelgiant į autonomines operacijas.
- Koncepcijų, metodų ir priemonių kūrimas skirtų laivo darbo ir operacijų autonomiškumo didinimui (pvz. Energijos sunaudojimas, aplinkosaugos klausimai, priekrantės ir uosto operacijos).
- Naujų laivinių sistemų kūrimas, skirtų didinti laivo autonomiškumą, ypač tų sistemų kurios skirtos duomenų rinkimui, monitoringui, duomenų perdavimui, kitų laivinių sistemų techninei priežiūrai ir atnaujinimui.
- Ekonomiškai veiksmingų koncepcijų kūrimas, skirtų įrenginių techninės būklės prognozavimui.
- Sistemos koncepcijų kūrimas skirtos trumpų nuotolių autonominių laivų navigacijai tam skirtais keliais.
- Siūlomų paslaugų ir produktų vertinimas teisiniu, ekonominiu ir saugumo požiūriu. [13]

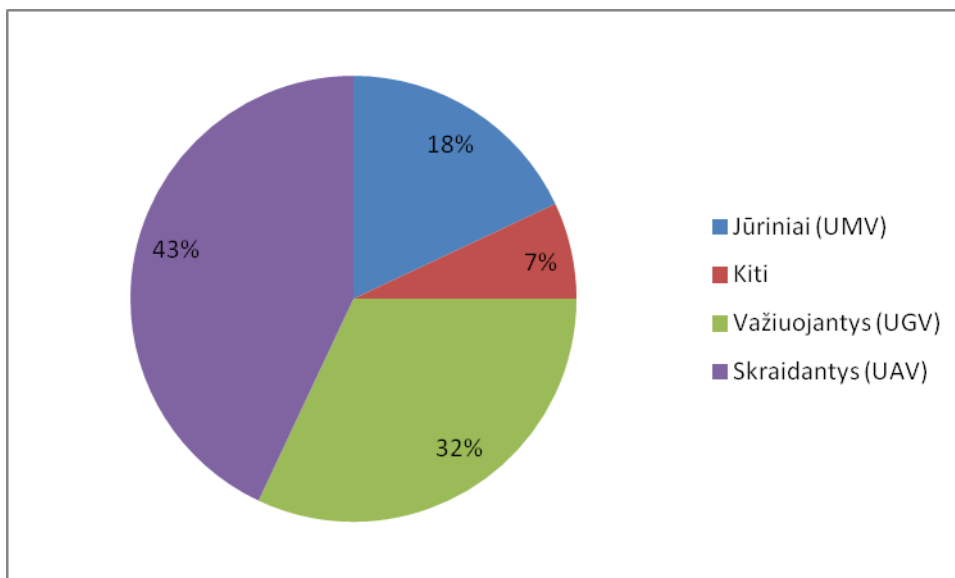
Viena iš sričių kurioje, kol kas, karaliauja karinė pramonė, yra bepiločiai įrenginiai (anglų k. – unmanned vehicles). Žmonės išgirdę apie bepiločius įrenginius, šiandien, dažniausiai pagalvoja apie skraidančius UAV (anglų k. unmanned aerial vehicle), povandeninius UUV (anglų k. – unmanned underwater vehicle), arba antžeminius UGV (anglų k. – unmanned ground vehicle) įrenginius. Kol kas dėmesio viršvandeniniams bepiločiams įrenginiams USV (anglų k. – unmanned surface vehicle), stokojama. Bepiločių įrenginių klasifikacija pateikta 1 pav. Nors USV buvo kuriami ir naudojami nuo antrojo pasaulinio karo, dažniausiai tai būdavo įrenginiai skirti minų paieškai ir naikinimui. Ir tik paskutinį dešimtmetį šie įrenginiai pradėti naudoti atlikti sudėtingesnes užduotis. Didžioji dauguma USV įrenginių šiuo metu yra sutinkama JAV, ir dauguma jų yra karinės paskirties: informacijai, sekimui ir žvalgybai. Moksliniams tikslams sukurti USV yra tik eksperimentinėse stadijose, o prekyboje naudojimui paruoštų įrenginių yra tik vienetai.[1]



1 pav. Bepiločių įrenginių klasifikacija

Pagal tarptautinės bepiločių įrenginių asociacijos (anglų k. – Association for Unmanned Vehicle Systems International AUSVI) 2012 metais organizuojamos pasaulinės konferencijos

dalyvių duomenimis, 2 paveiksle pateiktas pasiskirstymas rinkoje, pagal rūšis įskaitant įrenginius, platformas, programinę įrangą, paslaugas, susijusias technologijas bei komponentus.



2 pav. Bepiločių įrenginių pasiskirstymas

Norint labiau įsigilinti į problemas trukdančias USV įrenginiams įsitvirtinti rinkoje, Klaipėdos Universiteto, laivo inžinerijos katedroje buvo pradėtas projektuoti ir statyti katamaranas UBASUV (anglų k. - Unmanned Bathymetric SURvey Vehicle, lietuvių k. – bepilotis batimetrinius matavimus atliekantis įrenginys). Viena darbo dalis yra: „Autonominio plaukiojančio įrenginio intelektualios navigacinės sistemos sukūrimo galimybių analizė“

**Darbo tikslas:** Atlikus literatūros analizę sudaryti metodiką autonominio judėjimo sistemai sukurti. Sukurtos metodikos patikrinimui pritaikyti sistemą katamaranui UBASUV ir atlikti natūrinius eksperimentus.

Iškeltiems darbo tikslams pasiekti reikia išspręsti šiuos uždavinius:

**Uždaviniai:**

- Išanalizuoti plaukiojančių įrenginių judėjimą.
- Išanalizuoti autonominio judėjimo sistemų algoritmus.
- Išanalizuoti autonominio judėjimo sistemų techninius elementus.
- Sukurti veikiančią sistemą natūriniais bandymams atlikti.

## I. BEPILOČIŲ ĮRENGINIŲ TYRIMO ANALIZĖ

USV panaudojimas yra platus. Įrenginiai gali dirbti nemokant jiems atlyginimo, platesnis darbo sąlygų spektras priklausantis daugiausiai nuo konstrukcinių medžiagų fizikinių savybių, didelis pranašumas yra operacijų atlikimo tikslumas. Dar viena šiandienai aktuali priežastis USV panaudojimui, yra žingsnis link aplinką tausojančių technologijų.

Plaukiojančių viršvandeninių įrenginių korpusai, priklausomai nuo paskirties būna pripučiami guminiai, pusiau panirę, vandens motociklo, katamaranai, trimaranai. Korpusai gaminami iš plieno, anglies pluošto, plastikų, aliuminio. Varytuvus dažniausiai varo dyzeliniai arba dyzelinio ir elektrinio variklių kombinacija, kaip alternatyva naudojama vėjo energija (burės), bangos, arba saulės energija.

Viena iš paprasčiausių užduočių kurioms atlikti būtų galima pasitelkti USV tai yra vandens telkinių tyrimas. Vandens racionaliam naudojimui, apsaugai būtina informacija apie jų išteklius, pasiskirstymą bei kaitą. Lietuvoje vandenys užima 4,01% bendro šalies ploto. Nemaža jų dalis pakankamai ištirta, tačiau reikalingi ir kartotiniai vandens telkinių batimetriniai tyrimai, atlikti šiuolaikiniais tikslesniais matavimo prietaisais. Batimetrinių tyrimų pagrindą sudaro gylių matavimas.

Gylius vandens telkiniuose galima išmatuoti su matuokle (hidrometrinė kartis)  $h < 3\text{m}$ ; su grandine arba lynu paprastai su svarmeniu apačioje  $2 < h < 50\text{m}$ ; naudojant hidroakustinį metodą – echolotu  $1 < h < 1200\text{m}$ . [21]

Kaip teigiama autorės padarytose išvadose, greičiausias laiko atžvilgiu bei tinkantis visų tipų vandens telkinių gyliui nustatyti – hidroakustinis (echolotu) metodas.

Klaipėdos uoste dažnai švartuojasi laivai kai atstumas tarp akvatorijos dugno ir laivo korpuso dugno yra minimalus, o tekantis vanduo iš Kuršių marių nuolat užneša nešmenimis uosto baseiną. Todėl norint užtikrinti saugią laivybą periodiškai dirba hidrografai.

Aprūpintas echolotu USV nesunkiai gali atlikti šias užduotis. Taip palengvinamas specialistų darbas ir sumažinami kaštai kurie skiriami laivo ir įgulos išlaikymui.

Šiuo metu, mokslinių tyrimų uždaviniai yra pereiti nuo nuotolinio valdymo prie pilnai autonominio ar iš dalies autonominio valdymo sprendžiant įvairias užduotis. Viena iš užduočių gali būti judėjimas iš taško A į tašką B nesusidūrus su kliūtimis, arba sekti kito, motininio, laivo keliu plaukiant tiksliai nenukrypstant nuo kurso.

Michael H. Bruch, G. A. Gilbreath, J. W. Muelhauser, J. Q. Lum, sukūrė tikslią sistemą, naudojančią nebrangius komponentus. [10]

Žemės paviršiuje naudojama maršruto taškų (Anglų k. Waypoint) navigacija, kad efektyviai atlikti savo funkciją, paprastai reikalauja didelio tikslumo esamos pozicijos informacijos. Dažniausiai sistemos tam tikslui pasiekti naudoja diferencialinį GPS ir aukštos kokybės, brangias inercinės navigacijos sistemas. Norint padaryti maršruto taškų navigaciją prieinamą paprastoms techninėms platformoms ir įrenginiams, buvo sukurta mažagabaritė, nebrangi maršruto taško navigacijos sistema. Sistema naudoja nebrangių sensorių ir Kalmano filtro kombinaciją siekiant sumažinti skirtumą tarp GPS ir giroskopų duomenų. Algoritmai veikia pigiame įterptiniame procesoriuje.

Pagrindinis projekto tikslas buvo sukurti patikimą maršruto taškų navigacinę sistemą skirtą mažagabaričiams įrenginiams kurie neturi galimybės panaudoti diferencialinį GPS. Maršruto taškų navigacija seka iš anksto nustatytų koordinatų keliu pasiekus vieną tašką tikslu nustatomas sekantis pagal eiliškumą esantis taškas.

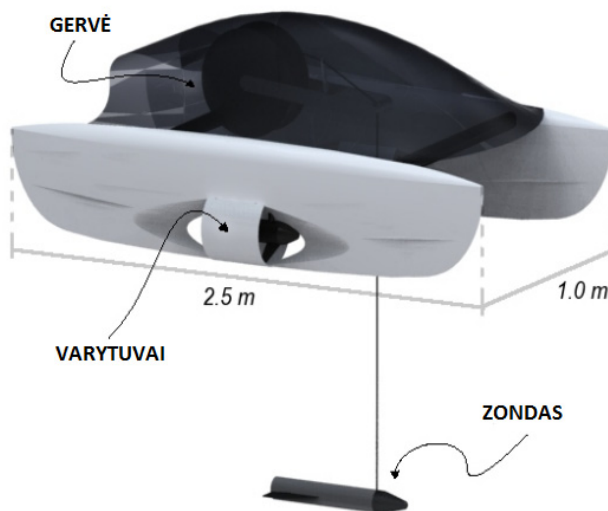
Nepakoreguotame GPS signale įvairiais laiko periodais atsiranda neatitikimų kurie atsiranda dėl skirtingų priežasčių. Šioje apžvalgoje jie išskiriami kaip 1) didelio dažnio triukšmas, 2) ilgalaikis pasislinkimas. Primoji kategorija tai netikslios duomenų reikšmės kurios pavaizduotos dviejų ašių koordinatų sistemoje matosi kaip laužtinė, nesklandi trajektorija. Patirtis rodo jog šio triukšmo priežastys yra jog GPS imtuvas kartais patenka į palydovui nematomą zoną, taip pat ir atsispindėjęs palydovo signalas gali dubliuotis ir taip paveikti GPS imtuvo tikslumą. Šios paklaidos gali varijuoti nuo keliolikos centimetrų iki dešimčių metrų.

Kita GPS klaidų kategorija yra ilgalaikis pasislinkimas. Šias klaidas pastebėti yra žymiai sudėtingiau, kadangi jos daro ilgalaikę įtaką koordinatų plokštumoje, kitaip nei triukšmas, ši klaida yra nepastebima. Šių klaidų kilmę nustatyti sudėtinga tačiau didžiausią įtaką jų atsiradimui daro jonosferos ir troposferos poveikis radijo signalui. Šios klaidos varijuoja nuo visai nepastebimo iki dešimties ir daugiau metrų.

Kuriant patikimą maršruto taškų navigaciją, įrenginys turi pakankamai tiksliai žinoti savo buvimo vietą, naudojant tikrai nediferencialinį GPS to pasiekti negalima.

GPS triukšmui ir klaidoms mažinti, siūloma apjungti GPS imtuvą su kitais sensoriais, ir šių sensorių duomenis apdoroti panaudojant Kalmano filtrą. Apjungus inercinius sensorius su GPS imtuvu galima labai padidinti pozicionavimo tikslumą. Inerciniai sensoriai yra labai mažo triukšmingumo, tačiau galimas begalinis duomenų pasislinkimas, tačiau GPS atvirkščiai, triukšmingumas pakankamai didelis, o pasislinkimas gana mažas.

Garneau M-È, Posch T., Pradalier C., Pomerleau F., Hitz G., Siegwart R., Pernthaler J., [9] sukūrė ir tobulina bepilotį katamaraną *Lizbeth* 3 pav. skirtą bakterijų mėginiamis skirtinguose ežero gyliuose imti. Katamaranas yra 2,5m ilgio 1,8m pločio bendrai ir 0,6m plotis atskiro korpuso. Įrenginys aprūpintas *Yamaha m12* elektrine propulsijos sistema. Laivas vairuojamas sudarant traukos skirtumą tarp variklių, autorių teigimu tokio tipo vairavimo sistemos pakanka. Įrenginį elektros energija aprūpina 12v 70Ah švino akumuliatorius, projektinis įrenginio greitis yra 0,6m/s. Autonominio valdymo sistemą sudaro GPS imtuvas, kompasas, bei kompiuteris.



3 pav. Bepilotis katamaranas *Lizbeth*

Pratap Tokekar, Andrew Studenski, Deepak Bhaduria ir Volkan Isler [15] sukūrė bepilotį plaukiojantį įrenginį skirtą pažymėtų karpių sekimui tvenkinyje. Autoriai koncentravosi ties navigacinės sistemos kūrimu, todėl autoriai nesistengė sukurti aptakaus ir mažo pasipriešinimo korpuso. Autorių sukurtas algoritmas veikia, tačiau esant šoniniam vėjui ar srovėms įrenginys prastai išlaiko judėjimo trajektoriją, tam įtakos gali turėti ir prasta katamarano konstrukcija, korpusai pagaminti iš PVC vamzdžių, o antstatas labai aukštas. Atliekant batimetrines užduotis tokie nuokrypiai neleistini.

Robert Müller [17] suprojektavo ir sukūrė bepilotį burlaivio modelį. Savo darbe autorius akcentuoja autonominio valdymo įrangos komponentų suderinamumo klausimą. Gana detaliai išnagrinėti skirtingų gamintojų sensoriai. Nors ir darbas gana išsamiai išnarinėja techninę autonominio burlaivio dalį, tačiau trūksta informacijos, apie autopiloto tipą, ar burlaivis seks maršruto taškus, ar tiesiog laikysis nustatyto kurso, darbe nepaminėta. Be to vienkorpulinis burlaivis nėra labai tinkamas moksliniams tikslams, dėl nuolatinio kreno, bei priklausomybės nuo meteorologinių sąlygų.

He Bin ir Amahah Justice [7] aprašo standartinę bepiločio lėktuvo sistemą. Kadangi bepiločiai orlaiviai labai paplitę netik profesionalioje veikloje, bet ir tarp fotografijos iš oro mėgėjų. Autoriai aprašo gana populiarią sistemą kuri sukurta naudojantis Arduino platforma. Be įprastų GPS, inercinių sensorių, bei imtuvo, į sistemą įtrauktas ir infraraudonųjų spindulių horizonto daviklis, kurio pagalba vyksta orlaivio stabilizavimas. Ši sistema labai paplitusi ir yra pakankamo tikslumo, tačiau naudoti ją žemės ar vandens paviršiumi judantiems objektams būtų netikslinga.

Išanalizavus, atliktus darbus, galime daryti išvadą, jog plaukiojantys bepiločiai įrenginiai, gaminami tik konkrečioms tikslams, dažnu atveju neskiriama pakankamai dėmesio pačiai platformai, orientuojamasi į reikalingą atlikti užduotį. Yra sukurta daug universalių navigacinių sistemų skirtų orlaiviams, tačiau skirtingiems plaukiojantiems įrenginiams pritaikomos sistemos nėra.

## II. ĮRENGINIŲ JUDANČIŲ VANDENS PAVIŠIUMI DINAMIKA

### 2.1. Atskaitos sistemos

Laivo judėjimas aprašomas naudojantis netisinėmis diferencialinėmis lygtimis, šešiams laisvės laipsniams. Pirmieji trys kintamieji:  $x, y$  ir  $Z$ , (išilginis, skersinis, vertikalus) jie nusako laivo padėtį trimatėje erdvėje, likusieji trys kintamieji  $\phi, \theta, \psi$  aprašo sukamąjį judėjimą (bortinis, kilinis ir vingiavimas) pagal  $X, Y$  ir  $Z$  ir nusako laivo orientaciją.

Priimant, kad laivas vandens paviršiuje yra stabilus, o bortinis ir kilinis svyravimai yra nykstantai maži  $\phi = 0, \theta = 0$ , taip pat, laivams plaukiojantiems vandens paviršiumi, išilginis judėjimas  $X$  ašimi yra prilyginamas nuliui  $x = 0$ , išskirtiniais atvejais vingiavimas (sukinėjimasis apie  $Z$  ašį) taip pat yra prilyginamas nuliui. Šiuo atveju gaunamas trijų laisvės laipsnių laivo matematinis modelis.

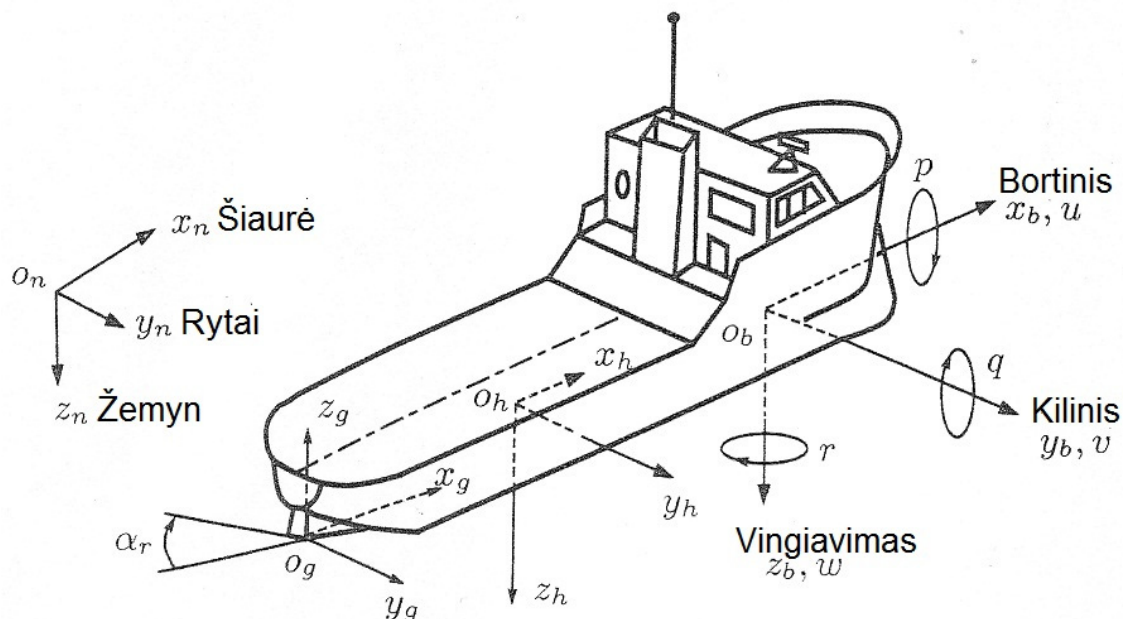
1 lentelė. Laivo laisvės laipsniai

Laisvės laipsnis		Jėgos arba momentai	Linijinis, kampinis greičiai	Padėtys ir Eulerio kampai
1	Judėjimas $X$ ašimi (išilginis)	$X$	$u$	$x$
2	Judėjimas $Y$ ašimi (skersinis)	$Y$	$v$	$y$
3	Judėjimas $Z$ ašimi (vertikalus)	$Z$	$w$	$z$
4	Sukinėjimasis apie $X$ ašį (bortinis)	$K$	$p$	$\phi$
5	Sukinėjimasis apie $Y$ ašį (kilinis)	$M$	$q$	$\theta$
6	Sukinėjimasis apie $Z$ ašį (vingiavimas)	$N$	$r$	$\psi$

Tam kad nusakyti laivo padėtį erdvėje reikia turėti koordinačių sistemą, laivų projektavimo ir hidrodinamikos uždaviniuose jos yra kelios 4 pav.

- Žemės atžvilgiu fiksuota koordinačių sistema (Anglų k. – North-east-downs frame)  $(o_n, x_n, y_n, z_n)$ . Teigiama jos ašis  $x_n$  yra nukreipta į šiaurę, teigiama  $y_n$  ašis į rytus, o teigiama  $z_n$  ašis į žemės centrą. Atskaitos centru pasirenkamas betkuri tinkamas taškas esantis vandens paviršiuje vidutiniame lygyje.
- Geometrinė koordinačių sistema  $(o_g, x_g, y_g, z_g)$ . Ši sistema yra priskirta korpusui, teigiama jos ašis  $x_g$  nukreipta į laivapriekį, teigiama  $y_g$  ašis nukreipta į dešinę bortą, o teigiama ašis  $z_g$

nukreipta viršun. Atskaitos centras yra diametralinėje plokštumoje, pagrindinės plokštumos ir laivagalinio statmens susikirtimo vietoje.



4 pav. Laivo koordinacių sistemos [5]

- Korpuso koordinacių sistema (Anglų k. – Body-fixed frame),  $(o_b, \chi_b, y_b, z_b)$ . Ši sistema taip pat priskirta korpusui ir teigiama jos ašis yra  $\chi_g$  nukreipta į laivapriekį, teigiama  $y_b$  ašis nukreipta į dešinę bortą, o teigiama  $z_b$  ašis nukreipta žemyn.
- Hidrodinaminė koordinacių sistema  $(o_h, \chi_h, y_h, z_h)$ . Ši sistema nėra pririšta prie laivo, ji juda vidudiniu laivo greičiu sekdamą laivo trajektoriją,  $\chi_h - y_h$  plokštuma sutampa su vandens paviršiumi, ašis  $\chi_h$  yra lygi kampui  $\psi$ , ašis  $y_h$  nukreipta į dešinę bortą, o ašis  $z_h$  nukreipta žemyn. Atskaitos pradžia  $o_h$  parenkama taip kad ašis  $z_h$  kirstų vandentalpos centrą. [3]

Kiekviena iš šių sistemų yra naudojama skirtingiems tikslams. Pavyzdžiui geometrinė koordinacių sistema yra naudojama laivų projektuotojų, aprašant laivo geometriją, pagrindinius laivo ilgius, svorio ir vandentalpos centro koordinates. Geografinė koordinacių sistema naudojama, tam kad nusakyti laivo poziciją, o naudojama su korpuso koordinacių sistema, galima nusakyti ir laivo padėtį erdvėje. Visi matavimai atlikti laive (greičiai, pagreičiai ir kiti.) yra perskaičiuojami korpuso koordinacių sistemai, kuri taip pat yra naudojama atliekant judėjimo skaičiavimus.

Hidrodinaminė koordinacių sistema naudojama hidrodinamikoje, skaičiuojant laivo korpuso ir bangų sąveiką, šie duomenys yra svarbūs projektuojant laivo valdymo sistemą. Taip pat naudojama skaičiuojant bangų poveikio sukeltus pagreičius, kurie įtakoja laivo įgulą, krovinį, bei kenkia laivo valdomumui.

## 2.2. Valdومumas

Laivo valdomumas – tai laivo savybė plaukti tiesiai, jei vairas nepasuktas, ir keisti plaukimo kryptį, jei vairas pasuktas. Laivo valdomumą apibūdina jo kurso ir pasukamumo pastovumas. [20]

Šiandieninėje praktikoje apie laivo valdomumą dažniausiai sprendžiama pagal:

- santykinį cirkuliacijos diametrą;
- laivo sukimosi kampinį greitį;
- laivo linijinį greitį cirkuliacijos metu;
- kreno kampą;
- laivo pastovumą tiesiame kurse;
- laiką laivo posūkiui  $20^\circ$  kurso kampu;
- laivo inertiškumo kampą. [3]

Laivą naudojant jo valdomumas keičiasi: jis priklauso ne tik nuo tokių pastovių elementų, kaip vairo peleko plotas, peleko dalis, esanti sraigto sraute, laivo korpuso išmatavimai, bet ir nuo kintamų dydžių – laivo gramzdos, kreno ir diferento kampų, korpuso paviršiaus būklės, pradinio greičio, vairo pasukimo kampo, vandens gylio, vėjo, vandens tėkmės ir kt. Laivui plaukiant kreivalinijine trajektorija cirkuliacijos metu jį veikia išcentrinė jėga, hidrodinaminė vairo ir hidrodinaminė laivo korpuso reakcijos. Be to, laivą veikia vingiavimo momentas – tai minėtų jėgų momentas vertikaliosios ašies atžvilgiu.

Bet kokių standartų reikalavimai priklauso nuo laivo, kuriam jie skirti, tipo. Paprastai tokie reikalavimai nelengvai realizuojami. Tuo labiau kad laivo pastovumas kurse ir laivo pasukamumas yra viena kitai prieštaraujančios laivo jūrinės savybės. Tiesa, pavyzdžiui, didelis vairas gali pagerinti laivo pastovumą kurse ir kartu palengvinti laivo pasukamumą. Arba padidinus laivo grimzlės santykį su laivo ilgiu galima pagerinti pastovumą kurse nedarant įtakos pasukamumui.

Dideliems jūriniam laivams paprastai svarbiau pastovumas kurse. Nes įplaukiant į uostą ir manevruojant jame be buksyro pagalbos nepavyksta apsieiti. Vidutinio dydžio laivai daugiau laiko praleidžia ribotose akvatorijose ir rečiau naudojami buksyro paslaugomis. Šiems laivams yra svarbiau pasukamas.

Laivo valdomumas priklauso nuo laivo korpuso formos, vairo konstrukcijos ir dydžio, laivo greičio. Žymią įtaką laivo valdomumui turi žemiau išvardintos charakteristikos. Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad atskirų laivo charakteristikų įtaką yra skirtinga, jei skirtingi (arba maži, arba dideli) vairo pasukimo kampai.

- Laivo ilgio pokytis, jei vario pasukimo kampai nedideli ( $\alpha_p \leq 10^\circ$ ), praktinės įtakos laivo valdomumui neturi. Jei didesni  $\alpha_p$  padidinus laivo ilgį, cirkuliacijos spindulys taip pat padidėja, t.y. pagerėja laivo pastovumas kurse, bet pablogėja laivo pasukamumas.

- Keičiant laivo plotį, pastebimai keičiasi valdomumo diagramos tiek pradinė dalis, tiek ir dalis, atitinkanti didelius vairo pasukimo kampus. Padidinus laivo plotį, laivas greičiau darosi dinamiškai nepastovus kurse, bet pagerėja jo pasukamumas.

- Didinant laivo grimzlę, laivas darosi pastovesnis kurse, bet blogėja jo pasukamumas.

- Žymią įtaką laivo valdomumui turi išilginio pilnumo koeficientas  $\varphi$ . Padidinus šį koeficientą, laivas tampa dinamiškai nepastovus kurse, bet gerėja jo pasukamumas, jei vairo pasukimo kampai yra dideli.

- Labai didelę įtaką laivo valdomumui turi laivagalio nuosvyros plotas. Sumažinus deidvudo plotą (t.y. padidinus nuosvyrą), laivas pastebimai darosi dinamiškai nepastovus kurse, o jo pasukamumas labai pagerėja.

- Forštevenio posvyris valdomumui turi nedidelę įtaką, o pagrindinėje valdomumui diagramos dalyje ši įtaka praktiškai nepastebima. Jei pasviręs forštevenis – pablogėja laivo pasukamumas, bet pagerėja pastovumas kurse.

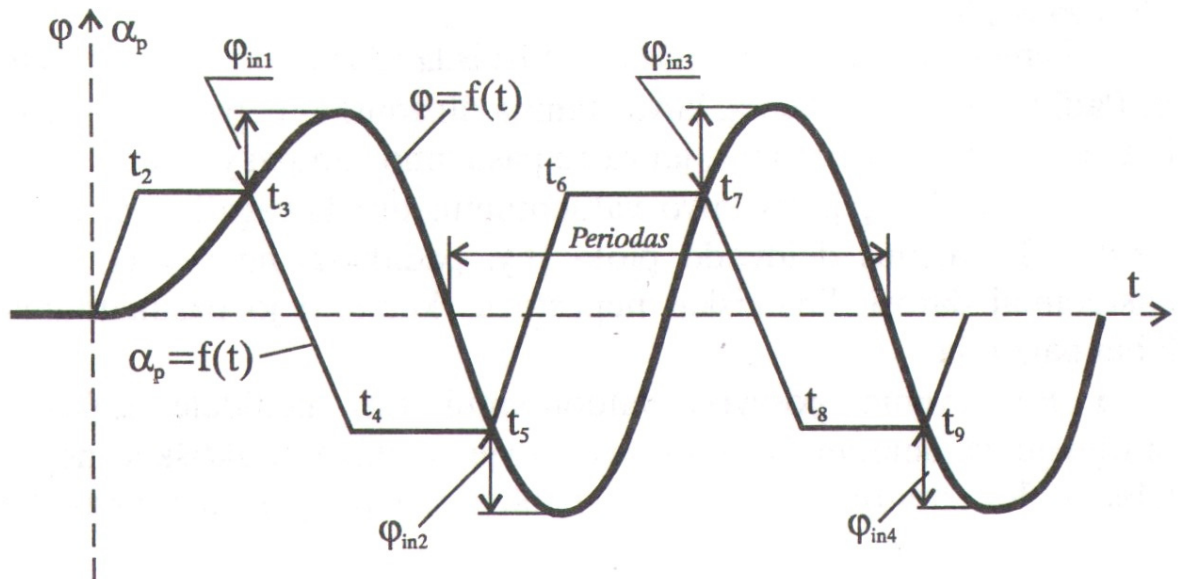
- Bulbinis laivapriekis pagerina laivo pasukamumą, bet greičiau kyla pavojus, kad laivas taps dinamiškai nepastovus kurse.

- Sudarant diferentą į laivagalį arba jį didinant, sumažėja arba ir išnyksta laivo dinaminis nepastovumas kurse, bet pablogėja laivo pasukamumas.

- Keičiant vairo peleko plotą pradinė valdomumo diagramos dalis praktiškai nekinta. Jei vario pasukimo kampai yra didesni, laivo pasukamumas bus geresnis esant didesniam vario pelekui.

Konkrečiau laivo manevrines ir valdomumo charakteristikas visapusiškai ir patikimai galima įvertinti tik atlikus natūrinius (arba modelinius) eksperimentus. Dažniausiai atliekami zigzago, spirales, cirkuliacijos, laivo išvedimo iš cirkuliacijos manevrai. Šių manevrų gauta informacija leidžia apskaičiuoti ir įvertinti praktiškai visas laivo valdomumo charakteristikas.

- Zigzago, arba Kempfo, manevras 5 pav. skirtas pradinei laivo reakcijai įvertinti, kai vairas pasuktas trumpam nedideliu kampu. Laivui plaukiant tiesiu kursu, vairą staigiai pasuka  $20^\circ$  kampu į dešinę bortą ir tokioje padėtyje jį išlaiko kol laivas taip pat pasisuks  $20^\circ$  į vairo pasukimo pusę. Laivui pasisukus į dešinę bortą  $20^\circ$ , vairą staigiai pasuka  $20^\circ$  į kitą bortą, t.y. į kairįjį bortą. Ši procedūra taip kartojama 4 – 5 kartus fiksuojant vairo posūkį ir laivo judėjimo trajektoriją.

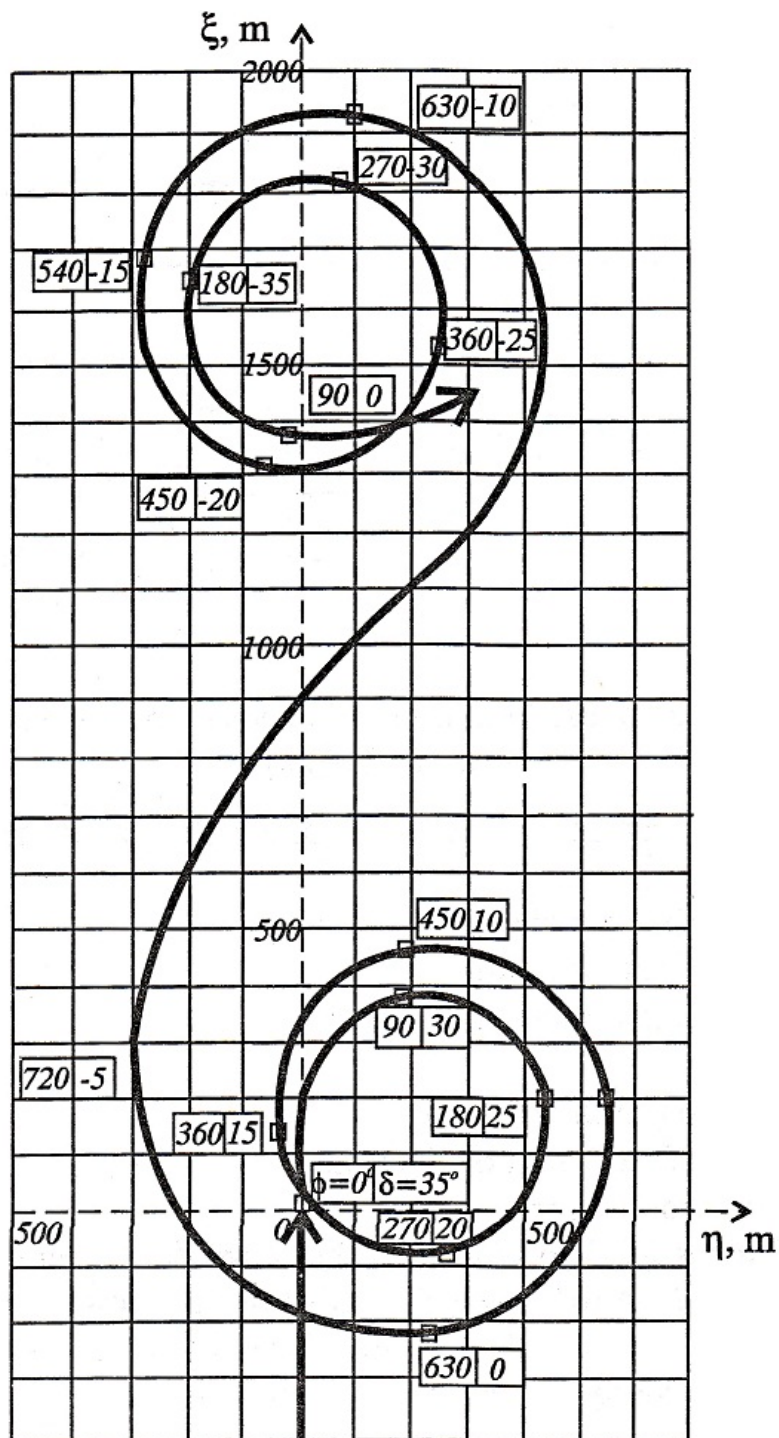


5 pav. Laivo zigzago manevras ( $\alpha_p$  - vairo pasukimo kampas;  $\varphi$  - laivo kurso kampas;  $\varphi_{in}$  laivo inertiškumo kampas) [3]

- Spiralinės, arba Dedone 6 pav., manevras leidžia įvertinti laivo pastovumą arba nepastovumą tiesiame kurse. Šis manevras atliekamas taip. Vairą pasuka  $15^\circ$  į kairįjį bortą. Nusistovėjus laivo sukimosi greičiui, vairo pasukimo kampą sumažina iki  $10^\circ$ , po to iki  $5^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $2^\circ$ , ir  $1^\circ$ . Toliau didina vairo pasukimą iki  $15^\circ$ , tik jau į dešinį bortą. Eksperimentas kartojamas esant įvairiems sraigto apsisukimams.

- Cirkuliacija – manevras, skirtas ilgalaikiai laivo reakcijai į vairo pasukimą įvertinti. Cirkuliacijos manevras pats paprasčiausias: esant pastoviam laivo greičiui, vairo pasukamas tam tikru kampu ir fiksuojama laivo judėjimo trajektorija iki tol, kol kursas pasikeičia  $360^\circ$ .

- Laivo išvedimo iš cirkuliacijos manevras leidžia įvertinti laivo pastovumą tiesiame kurse. Šio manevro esmė tokia. Vairas pasukamas į kairįjį (arba dešinįjį) bortą ir laivas po kurio laiko pradeda judėti nusistovėjusia kreivalinijine trajektorija. Tuomet vairą grąžina į diametralinę plokštumą ir fiksuoja laivo sugebėjimą grįžti į pradinį tiesų kursą.[8]



6 pav. Laivo spiralės manevras [3]

Šiai dienai yra sukurta labai tikslių ir sudėtingų laivų judėjimo matematinių modelių šešiams laisvės laipsniams, kuriais galima aprašyti laivo judėjimą, ant bangų, arba taikyti povandeniniams laivams. Šie modeliai naudojami vertinant laivų, stovumą, eigumą, manevravimą ir kitas savybes, susijusias su laivo svyravimais. Laivų valdymo uždaviniams spręsti pakanka trijų laisvės laipsnių modelių, tai yra laivo padėties X, Y ašyse, bei pasisukimo apie savo ašį parametru. Kuriant valdymo sistemą, tokio, supaprastinto modelio ir bus laikomasi.

### III. TECHINĖS ĮRANGOS IR JOS TAIKYMO ANALIZĖ

Didelis iššūkis sėkmingam USV darbui yra susidūrimų su kliūtimi išvengimas. Kai povandeniniams nepilotuojamiems įrenginiams susidurti tikimybė yra sąlyginai maža, tai USV įrenginiams dirbantiems atvirose vandenyse susidūrimo tikimybė yra pakankamai aukšta ir pasekmės šiuo atveju gali būti labai rimtos. Šiuo metu USV susidūrimų išvengti padeda operatorius, kuris stebi vaizdą kamerų, bei radarų pagalba. Esant grėsmei, yra pakeičiamas maršrutas, arba perjungiamas valdymas į nuotolinio valdymo režimą. Automatinė kliūčių vengimo sistema dar nėra sukurta, verta nepamiršti ir fakto jog ir valdomi žmonių, laivai neretai susiduria. Automatinės sistemos sukūrimas, kuri bet kokiomis oro sąlygomis ir patikimai aptiktų ir charakterizuotų kliūtis, būtų didelis žingsnis USV tobulinimo kryptimi.

Dabartiniame USV tobulinimo etape, yra naudojamos kelias aplinkos stebėjimo būdais: infraraudonųjų spindulių kameromis, LIDAR arba radijo lokacinėmis sistemomis sukurtais naudoti autonominiuose įrenginiuose. Kliūčių aptikimas ir charakterizavimas bet kokiomis oro sąlygomis, reikalauja skirtingų stebėjimo technologijų sintezės ir išplėstinio duomenų filtravimo. Nors ir yra sukurta pakankamai tobulo sensoriaus skirtos pilotuojamiems ir nepilotuojamiems įrenginiams, būtent plaukiojantiems įrenginiams skirtos įrangos tobulinimui dėmesio skirta mažai. Pagrindinė priežastis kuri taip išskiria autonomines sistemas tobulumo atžvilgiu yra judėjimo ašių skaičius. Povandeniniai laivai ir orlaiviai, juda trijų ašių atžvilgiu, o technika judanti vandens, žemės ar kitais paviršiais juda tik dviejų ašių atžvilgiu. Didesnis laisvės laipsnių skaičius judėjimo algoritmus padaro sudėtingesnius, tačiau dėl tos pačios priežasties labai sumažėja susidūrimų tikimybė, be to, judėjimo erdvės homogeniškumas, supaprastina aplinkos stebėjimo įrenginius. [6]

Pagrindinės sudedamosios USV dalys:

- korpusas;
- pagalbiniai struktūriniai elementai;
- propulsija;
- energijos aprūpinimo sistema;
- įrenginio komunikavimo, užduočių vykdymo ir valdymo sistema į kurią įeina:
  - sensorių sistema;
  - variklio valdymo sistema;
  - gabenamo įrenginio valdymo sistema;
  - navigacijos, valdymo ir kontrolės sistemos (Anglų k. NGC – Navigation, guidance, controll);
- užduočių valdymo postas;

- komunikavimo su įrenginiu sistema. [6]

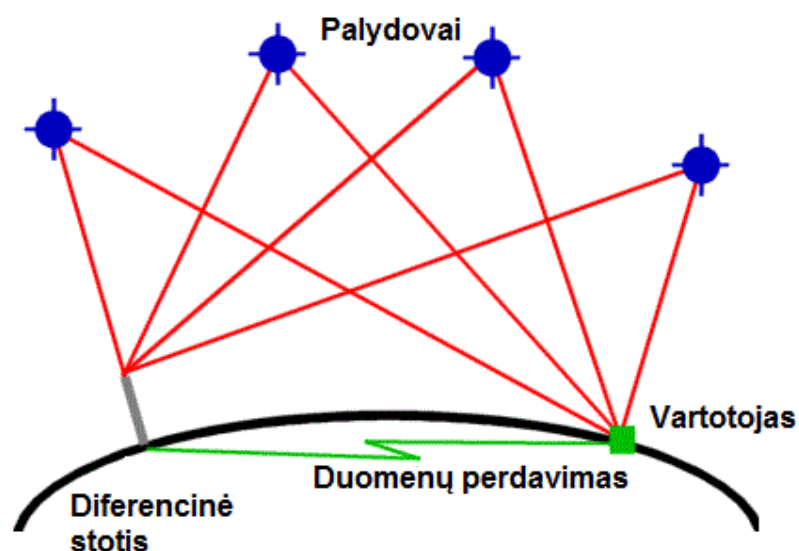
Įrenginio komunikavimo, užduočių vykdymo ir valdymo sistemą sudaro techninė ir programinė įranga. Techninė įranga būtų bevertė be unikalių programų ir algoritmų kuriems informaciją suteikia šiai dienai labai mažus gabaritus ir ypač didelį tikslumą turintys sensoriai. Techninė įranga šioje srityje yra pakankamai tobula, norint tobulinti įrenginį daugiausiai dėmesio reiktų skirti programinei šios sistemos įrangai.

### 3.1. GPS imtuvas

Didelę atspirtį autonominių įrenginių vystymui davė GPS (Anglų k. – Global Positioning System Lietuvių k. – globalinė padėčių nustatymo sistema) technologijos atvėrimas visuomenei. Šis metodas yra taikomas geodezijos, kartografijos, navigacijos, aplinkosaugos, eismo tvarkymo, įvairiose inžinerijos srityse. Jis užtikrina patikimesnį ir tikslesnį taškų, esančių Žemės paviršiuje ir erdvėje aplink ją, koordinačių, jų pokyčiui laikui bėgant ir atitinkamų vektorių nustatymą. GPS taškų koordinačių nustatymo metodas pagrįstas amerikiečių sukurta kosmine navigacijos sistema NAVSTAR (anglų k. – Navigation Satellite Timing and Ranging, lietuvių k. – navigaciniai laiko ir atstumų nustatymo palydovai).

GPS sistema pradėjo veikti 1983m. amerikiečiams paleidus dirbtinių žemės palydovų sistemą, NAVSTAR. Ši sistema buvo sukurta JAV kariškių navigacijos tikslams (oro, vandens ir sausumos). Po kelerių metų NAVSTAR sistema plačiai pradėta taikyti geodezijos, kartografijos, geologijos, geografijos ir kt. poreikiams.

Dabar plačiai imta taikyti pakankamai tikslus diferencinis taškų koordinačių nustatymo realiuoju laiku metodas (DGPS). Žemės paviršiaus taškuose įrengiamos nuolat veikiančios GPS referencinės (bazinės, atraminės) stotys, kurių koordinatės tiksliai žinomos reikiamoje koordinačių sistemoje. Taip sudaromi GPS referencinių stočių tinklai. Referencinės stotys nutolusios viena nuo kitos 10 km iki 50 km atstumu. Jos transliuoja telemetrinio ryšio kanalais GPS sistemos vartotojams atitinkamas išmatuotų dydžių ir jų parametrų pataisas. Šios pataisos reikalingos taškų tikslioms koordinatėms nustatyti, kai matavimai atliekami realiojo laiko masteliu, vienadažniais GPS imtuvais arba atliekami pakankamai greitai. Tokiu metodu nustatytų taškų koordinačių tikslumas yra centimetrų eilės, kai referencinės stotys išdėstytos nedaugiau kaip per 30 km (7 pav.). [19]



7 pav. DGPS veikimo schema (<http://www.beacon-egypt.com>)

Įrenginio navigacijos pagrindas yra GPS arba DGPS technologija. Ją papildo žiediniai lazeriniai arba šviesolaidiniai giroskopai, savaime susikalibruojanti magnetinio kompasos sistema. Tai užtikrina didelį tikslumą nustatant judėjimo kursą. Esant poreikiui USV greitis gali būti nustatinėjamas ir vandens atžvilgiu, tam tikslui panaudojant elektromagnetinai, akustiniai arba paprasti mechaniniai lagai. USV navigacijos principai pagrįsti kurso laikymosi algoritmu ir kelio, dvimatėje erdvėje, sekimu. Tam tikslui naudojami padėties (GPS), kurso, greičio ir kampinio greičio duomenys.

GPS imtuvas informaciją į arduino plokštę perduoda NMEA 0183 protokolu, NMEA (anglų k. - National Marine Electronics Association – Lietuvių k. Nacionalinė jūrinės elektronikos asociacija) šis protokolas standartizuoja komunikavimą tarp navigacinių įrenginių naudojamų laivuose, tai yra GPS imtuvai, lagai, anemometrai, autopilotai ir kt.

3 lentelė. GPS imtuvo charakteristikos

Duomenų perdavimo greitis	4800BPs
Maksimalus aukštis	18000m
Maksimalus greitis	500m/s
Maksimalus pagreitis	4g
Maitinimo įtampa	5V
Naudojama galia	380mW
Darbinė temperatūra	-40°-+85°
Leistina aplinkos drėgmė	5%-95%

GPS imtuvas informaciją perduoda vadinamais „sakiniais“. Viename sakinyje užkoduota visa perduodama informacija. Kiekvienas sakinytis prasideda \$ ženklu ir penkiomis raidėmis kurios nuroto koks NMEA įrenginys duoda informaciją. Sakinio pavyzdžiai pateikti žemiau:

\$GPRMC,081836,A,3751.65,S,14507.36,E,000.0,360.0,130998,011.3,E\*62  
 \$GPRMC,225446,A,4916.45,N,12311.12,W,000.5,054.7,191194,020.3,E\*68

2 lentelė. NMEA sakinio elementų reikšmės

225446	Laikas pagal UTC
A	Statusas A - galima pozicija, V - įspėjimas
4916.45,N	Platuma
12311.12,W	Ilguma
000.5	Greitis, mazgais
054.7	Kursas laipsniais
191194	UTC data

### 3.2. Nuotolinio valdymo sistema

Sukurtos sistemos viena svarbiausių autonominio judėjimo dalių, yra nepriklausoma nuotolinio valdymo sistema. Jos tikslas užtikrinti rankinį valdymo režimą šiais atvejais:

- Įrenginio nuvedimas į darbo zoną;
- Valdymo perėmimas, esant susidūrimo grėsmei;
- Sugedus autopiloto sistemai;
- Atliekant eigumo ir valdomumo bandymus su įrenginiu;



8 pav. Spektrum Dx6i valdymo sistema

Rankiniam valdymui užtikrinti naudojama *Spektrum Dx6i* nuotolinio valdymo sistema 8 pav. Šią sistemą sudaro 6 kanalų siųstuvai ir 6 kanalų imtuvas. Sistema signalą perduoda naudodama

gana naują skaitmeninę technologiją, kuri signalą siunčia 2,4 Ghz dažnių juosta. Naudojant kryptines antenas atviroje vietoje valdymo nuotolis siekia keliolika kilometrų. Tačiau gamintojas valdymo nuotolio nedeklaruoja.

### 3.3. Servo mechanizmai

Vairo plunksnų pasukimui naudojamos servo pavaros. Šios pavaros dažniausiai naudojamos modeliavime, mechanizmų valdymui. Taip pat sutinkamos ir buitiniuose prietaisuose, bei pramonėje, kur reikia paprasto ir sąlyginai tikslaus valdymo. Servo pavara susideda iš variklio, multiplikatoriaus ir pozicionavimo įrenginio. Mechanizmas turi ašį ant kurios dedamas svertas, mechanizmo svertas gali sukintis 180 laipsnių kampų. Servo pavaros maitinamos įtampa nuo 4,6V iki 6V, o valdomos PWM signalu (Anglų k. – Pulse width modulation, lietuvių k. – impulso pločio moduliacija). Signalas į servo pavara gaunamas tiesiai iš nuotolinio valdymo imtuvo, o esant įjungtam autopilotui signalas gaunamas iš mikroprocesoriaus. UBASUV vairams valdyti panaudoti *Robbe fs100* servo mechanizmai, jų charakteristikos pateiktos 4 lentelėje.

4 lentelė. Servo pavaros charakteristika

Dantračių medžiaga	Plastikas
Ilgis	40mm
Plotis	20mm
Aukštis	36mm
Svoris	44,4g
Maitinimo įtampa	4,8-6V
Sukimo momentas prie 4,8V	24 Ncm
Pasisukimo greitis prie 4,8V	0,21s/45°
Sukimo momentas prie 6V	30 Ncm
Pasisukimo greitis prie 6V	0,17s/45°

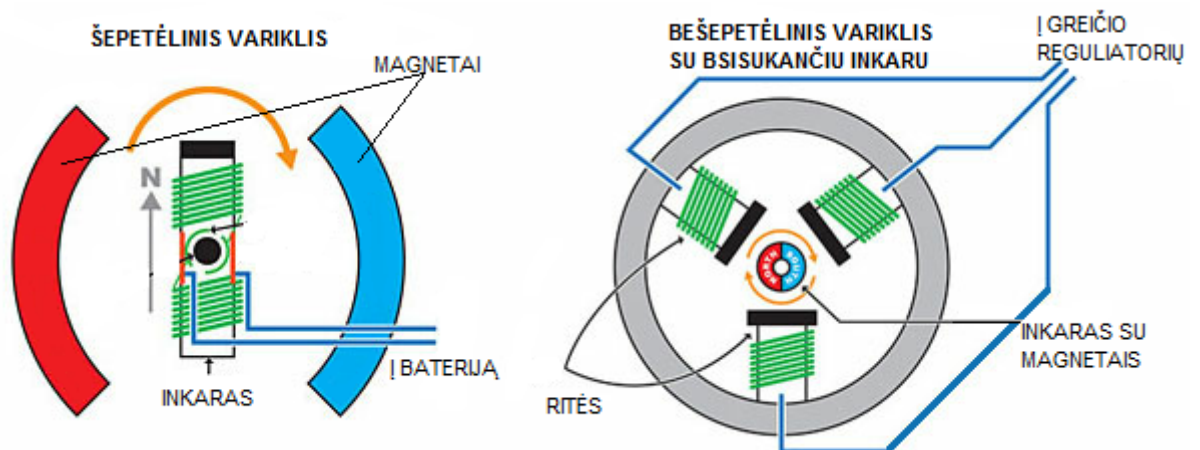
### 3.4. Varikliai ir greičio reguliatoriai

Sraigų velenams sukti parenkamas elektros variklis. Šiuo metu rinkoje egzistuoja trys elektrinių variklių skirtų modeliams rūšys: šepetėliniai, bešepetėliniai su besisukančiu korpusu (Anglų k. – outrunner), bešepetėliniai su besisukančiu inkaru (Anglų k. – inrunner). Šepetėlinių variklių konstrukcija yra paprasta (9 pav.) ją sudaro besisukantis rotorius, įstatytas tarp nesisukančių magnetų, į rotorius elektros energija perduodama per anglinius šepetėlius. Šių variklių privalumai yra, pigi konstrukcija, paprastas ir nebrangus valdymas, valdomas dviem laidais, pastoviems

greičiams nereikalingas greičio reguliatorius. Šie varikliai taip pat turi ir didelių trūkumų, jiems reikalinga reguliari priežiūra, blogos aušinimo galimybės, didelis rotoriaus inertiškumas pablogina dinamiškumą. Dėl variklio šepetėlių atsiranda tokie trūkumai kaip mažesnis apskukų diapazonas, esant didelėms apskukoms žymiai padidėja angliukų trintis į kolektorių, elektrinis lankas iš šepetėlių į kolektorių žadina radijo trikdžius.

Visiškai kitokios konstrukcijos yra bešepetėliniai varikliai (9 pav.), jų pavadinimas atspindi pagrindinę savybę, tai šepetėlių nebuvimas šiuose varikliuose. Bešepetėlinio variklio su besisukančiu korpusu konstrukciją sudaro ritė kuri, šiuo atveju yra statorius, o ritės išorėje yra korpusas su magnetais, kuris sukasi virš statoriaus. Variklio su besisukančiu inkaru konstrukcija yra priešinga – inkare yra sumontuoti magnetai, o aplink inkarą yra korpusas su statoriumi. Esminis skirtumas nuo šepetėlinių variklių yra tas jog variklis valdomas per tris laidus ir greičio reguliatorių, srovė paduodama į skirtingas rites, pagal nustatytą dažnį nuo kurio priklauso sukimosi greitis, taip inkaras priverčiamas sukintis. Dėka šios konstrukcijos varikliai nereikalauja nuolatinės priežiūros, nes nėra dylančių detalių, išskyrus guolius, aukštas sukimas prie įvairių sukimosi greičių, didelis naudingumo koeficientas, nėra įtampos kritimo dėl šepetėlių, didelis galios ir svorio santykis, geros aušinimo savybės, didesnis apskukų diapazonas, mažas radijo triukšmų generavimas. Šių variklių trūkumai yra didelė kaina, sudėtingas valdymas, tam kad variklis galėtų dirbti reikalingas greičių reguliatorius, kuris kartais būna brangesnis už patį variklį.

Lyginant bešepetėlinius variklius su besisukančiu inkaru ir variklius su besisukančia išore, skirtumas yra tik apsisukimų skaičiuje, varikliai su besisukančiu inkaru būna mažesnių diametrų, todėl išvysto labai dideles apskukas, jie dažniausiai naudojami sukėti mažas turbinas, laivų sraigtus arba naudojami su reduktoriumi, varikliai su besisukančia išore yra didelio diametro todėl gali būti mažesnių apskukų, tačiau su žymiai didesniu sukimo momentu.



9 pav. Šepetėlinis ir bešepetėlinis variklis

UBASUV sraigtams sukėti pasirinkti trifaziai bešepetėliniai varikliai. Variklio sūkliai reguliuojami greičio reguliatoriaus pagalba, kuris, kaip ir servo pavaros, komandą gauna iš imtuvo

PWM signalu, arba iš mikroprocesoriaus. Greičio reguliatorius maitinamas nuolatine elektros srove, ir atitinkamai nuo komandos generuoja tam tikro dažnio impulsus, keičiantis impulsų dažniui keičiasi variklio sukimosi greitis.

5 lentelė. Variklio ir greičio reguliatoriaus charakteristikos

Charakteristika	Variklio	Greičio reguliatoriaus
Įtampa	7,2 – 11,1V	7,2 – 11,1V
Srovė	24A	50A
Apsukos	3000aps/V	-
Svoris	43g	57g
Ilgis	45mm	62mm
Plotis	24mm	41mm
Aukštis	-	16mm

### 3.5. Arduino Duemilanove 328

Mūsų sukurtai sistemai parinktas mikrovaldiklis *Arduino Duemilanove 328* (10 pav.). Šis įrenginys yra skirtas mėgėjiškam naudojimui, tačiau dėl plačių galimybių ir paprastos vartotojo sąsajos, tinka naudoti kuriant prototipus.

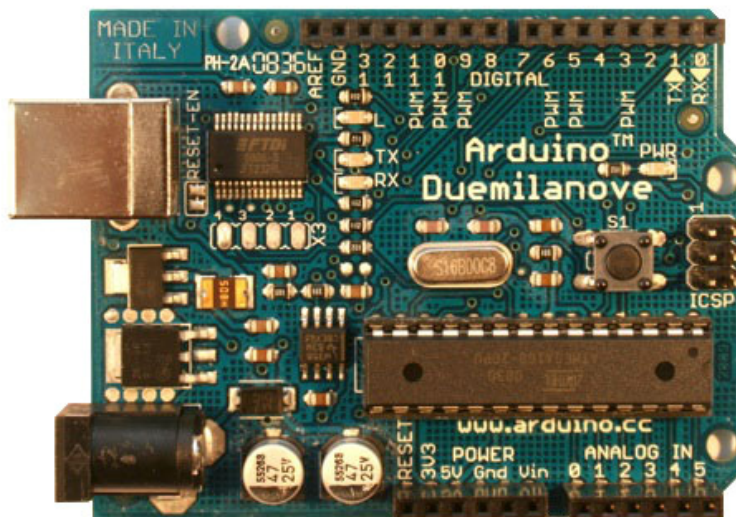
6 lentelė. Arduino Duemilanove 328 charakteristikos

Procesorius	Atmega328
Darbinė įtampa	5V
Maitinimo įtampa (rekomenduojama)	7-12V
Maitinimo įtampa (ribinė)	6-20V
Skaitmeniniai į/iš kanalai	14 (6 kanalai palaiko PWM moduliaciją)
Analoginiai į/iš kanalai	6
Išėjimų srovė	40mA
Taktinis dažnis	16MHz
Atmintis	32KB

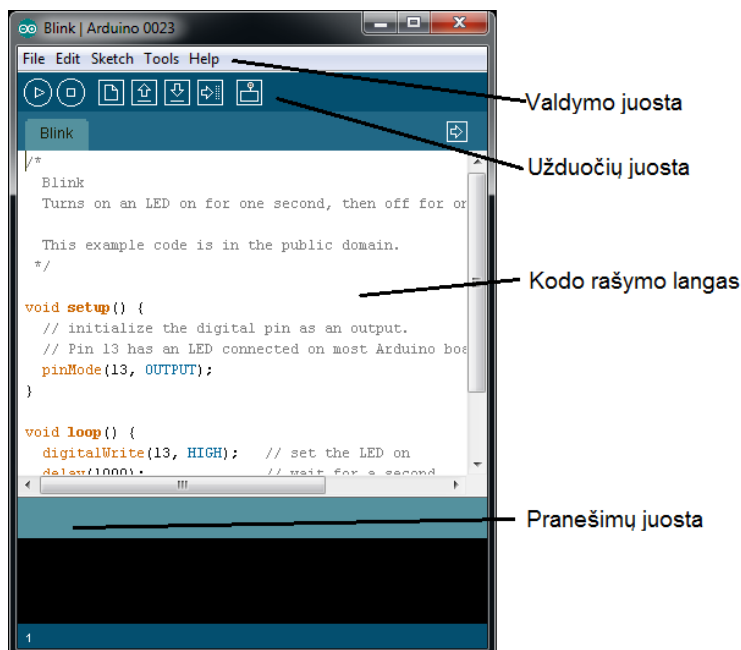
Plokštė jungiama prie asmeninio kompiuterio naudojant USB laidą, taip prijungus plokštę jai nebereikia papildomo maitinimo. Arduino sukurta nemokama programine įranga (11 pav.), galima iškart rašyti savo kodą, arba naudoti kitų autorių sukurtus kodus, dažniausiai naudojami jau

parašyti kodai tik pritaikomi reikiamam tikslui. Sekantis žingsnis turint kodą, yra įrašymas į arduino plokštę, tai padaroma vieno klavišo paspaudimu, programa patikrina kodą (ar nėra klaidų), jeigu viskas gerai kodas įrašomas. Parašytas kodas pateiktas prieduose.

Tam kad įrašyta į plokštę programa veiktų reikalingas maitinimas, kaip jau minėjome, maitinimas vyksta per USB, tačiau esant reikalui maitinimas galimas per papildomą jungtį, prijungiant išorinį maitinimo šaltinį arba bateriją.



10 pav. Arduino Duemilanove plokštė

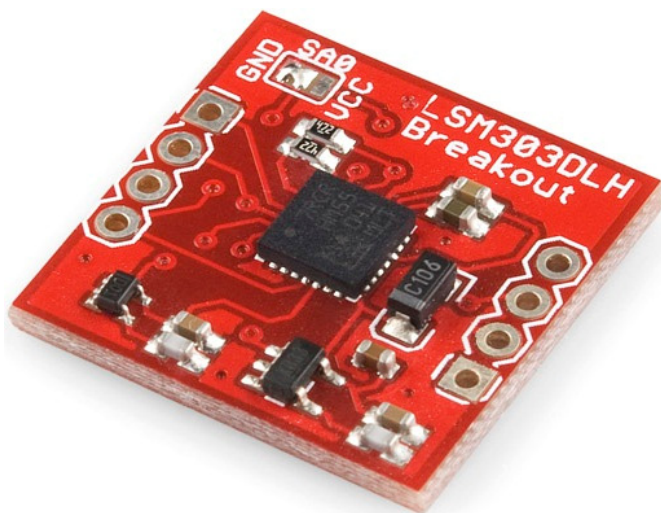


11 pav. Arduino programinė įranga

### 3.6. Kompasas

Kadangi GPS imtuvas kursinį kampa, išskaičiuoja tik judant, be to judant mažais greičiais jis nėra pakankamai tikslus, sistemoje reikalingas kompasas. Kompasas reaguodamas į žemės magnetinį lauką, rodo magnetinę šiaurės kryptį. Tokiu principu yra nustatomos objektų judėjimo kryptys. Įprastiniai kompasai šiaurę rodo tik horizontalioje padėtyje, laivams įprastiniai kompasai netinka, kadangi bangos sukelia svyravimus kurie iškreipia kompasą parodymus, o esant krenui jie visai nerodo. Šiuolaikiniai elektroniniai kompasai, mikroluste turi sumontuotus tris magnetometrus ir akselerometrus X, Y ir Z ašimis, tame pačiame luste esantis mikroprocesorius atlieka perskaičiavimus ir pateikia pakoreguotą šiaurės kryptį, tokie kompasai vadinami pokrypį kompensuojančiais kompasais (Anglų k. – Tilt Compensated Compass).

Mūsų kuriamai sistemai pasirinktas LSM303SLH kompasas (12 pav.). Lustas maitinamas nuo 2,5V iki 3,3V įtampa, darbinė temperatūra nuo -30° iki 85°.



12 pav. LSM303DHL kompasas

### 3.7. Akumulatoriai

Mažagabaričio plaukiojančio įrenginio UBASUV vienintelis energijos šaltinis yra akumulatoriai. Renkantis akumulatorius didelės įtakos akumuliatorių svoris neturi. Didžiausią įtaką renkantis akumuliatorių įrenginiui varomam elektra, kai svoris neaktualus, tai yra energijos kiekis kurį galima gabenti su savimi. Projektuojamo įrenginio UBASUV atveju triumuose yra daug erdvės, kurią galima užpildyti akumulatoriais.

Labiausiai paplitę rinkoje akumulatoriai yra: švino, nikelio-kadmio, nikelio-metalohidrido, ličio-jonų, ličio-polimerų. Nauji yra ličio-geležies-fosfato akumulatoriai. Atsižvelgiant į tai jog sistema maitinama nuo 7,2v iki 12v renkantis bet kurį akumuliatorių, reikės juos jungti į bateriją, tam kad pasiekti reikiamą įtampą.

7 lentelė. Akumuliatorių charakteristikos

Technologija	Pb	NiCd	NiMH	Li-ion	Li-Poly	LiFePO
Įtampa V	2	1,2	1,2	3,6-3,7	3,6-3,7	3,3
Specifinė energija (Wh/kg)	30-50	40-60	60-80	100-120	90-110	90-110
Tūrinė energija (Wh/l)	60-100	80-200	200-300	250-350	250-350	250-350
Įtampa iškrauto V	1,7	0,9	0,9	2,5	2,5	2,5
Įtampa pakrauto V	2,4	1,5	1,5	4,1-4,2	4,1-4,2	4,1-4,2
Ciklų skaičius	200-300	500-800	300-500	500-800	500-800	2000

Nors ir švino akumulatoriams daugiau nei 100 metų, jie vis dar labai plačiai paplitę, dėl sąlyginai mažos kainos ir paprasto naudojimo. Tačiau lyginant su kitais jų specifinė energija yra apie tris kartus, o tūrinė net iki 6 kartų mažesnė. Kitas trūkumas, tai pakrovimo iškrovimo ciklų skaičius, švino akumulatoriai tarnauja tik apie 300 pakrovimo iškrovimo ciklų, taip pat su kiekvienu ciklu, įkrovimo talpa mažėja. Šių akumuliatorių galima įsigyti įvairių stačiakampio gretasienio formų.

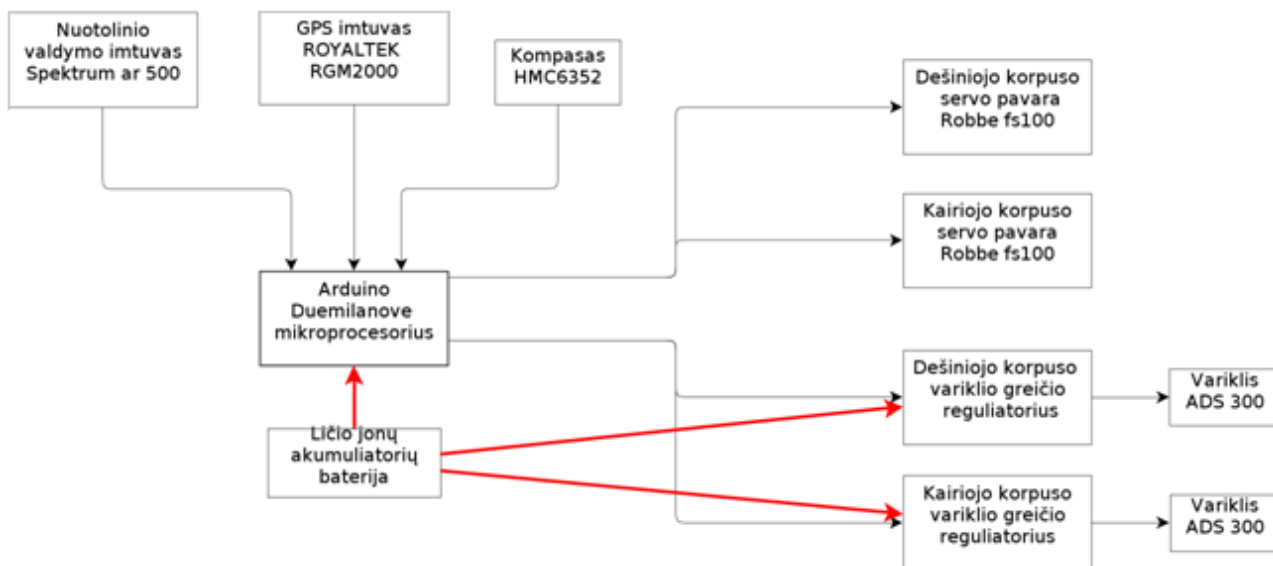
Buityje, bei mobiliuose įrenginiuose dar plačiai tebenaudojami nikelio-kadmio bei nikelio-metalo-hidrido akumulatoriai. Šių akumuliatorių standartiniai korpusai yra mažų gabaritų, lyginant su švino akumulatoriais jų specifinė energija praktiškai nesiskiria, tačiau tūrinė energija iki 3 kartų didesnė, ciklų skaičius dvigubai didesnis.

Naujiena akumuliatorių rinkoje yra ličio pagrindu gaminami akumulatoriai, kurie pranoksta švino bei nikelio akumulatorius savo specifine ir tūrine energijomis. Ypač išsiskiria Ličio-geležies-fosfato akumulatorius kuris be didelės talpos mažame tūryje ir svoryje, taip pat tarnauja apie 2000 ciklų, o talpos sumažėjimas dėl ciklinio dėvėjimosi yra labai mažas.

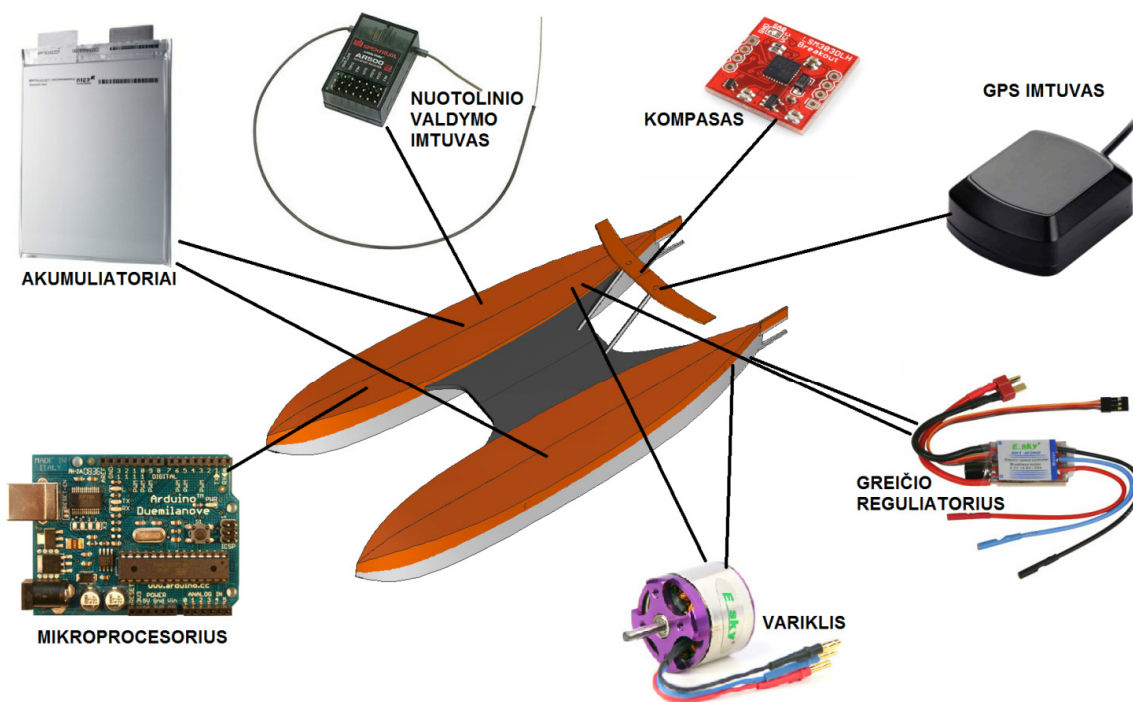
Parentant akumulatorius, mažagabaričiams įrenginiui, reikėtų rinktis ličio pagrindu gaminamus akumulatorius, geriausia ličio-geležies-fosfato. Šie akumulatoriai turi didelę tūrinę ir specifinę energetinę talpą, tarnavimo laikas yra ilgas. Esant poreikiui dažnai krauti akumulatorius (kai nėra galimybės gabenti didelio kiekio akumuliatorių) ličio pagrindu gaminami akumuliatorių pakrovimas užtrunka iki 2 valandų, o ličio-geležies-fosfato akumuliatorių galimas pakrovimas per 15 minučių, tai yra nuo 8 iki 24 kartų greičiau negu švino ar nikelio.

### 3.8. Komponentų montavimas įrenginyje

Visi pasirinkti komponentai turi būti sujungti į sistemą, tai yra daroma pagal schemą pavaizduotą 13 paveiksle. Komponentai jungiami į mikroprocesoriaus plokštės analoginius įėjimus. Akumuliatoriai maitina greičio reguliatorius ir mikroprocesorių, mikroprocesoriaus įtampas stabilizatorius, atitinkamomis įtampom užmaitina kitus komponentus.



13 pav. Principinė komponentų jungimo schema



14 pav. Komponentų išdėstymas įrenginyje

Mikroprocesorius kuriame įrašyta programa patalpinamas viename iš korpusų, sandariame korpuse, kartu su nuotolinio valdymo imtuvu. GPS imtuvas sumontuotas ant platformos, ant platformos taip pat sumontuotas ir kompasas, montuojant kompasą didelę įtaką daro šalia esantys laidai ir metaliniai daiktai. Todėl kompasas iškeliamas atskirai nuo elektronikos. Kiekviename korpuse, yra po variklį ir greičio reguliatorių. Didžiausią tūrį užima akumulatoriai, jie išdėstomi kaip balastas, per abu korpusus. Komponentų išdėstymo vietos pateiktas 14 paveiksle.

Sistemos komponentai montuojami atidžiai parenkant vietas korpuse, jie turi būti lengvai prieinami, esant poreikiu, juos keisti ar remontuoti. Komponentų montavimui naudojami iš aliuminio pagaminti laikikliai, klizai bei varžtai. Didžiausia grėsmė plaukiojančio įrenginio elektroniniams komponentams, tai yra vanduo ir drėgmė, todėl geriausia įrengti atskirą hermetišką korpusą, kuriame būtų patalpinamas mikroprocesorius su nuotolinio valdymo imtuvu. Greičio reguliatorių, servo mechanizmų kaip ir variklių, hermetizuoti papildomai nepavyks, tačiau jų atsparumas drėgmei yra didesnis. Komponentus būtina patikimai pritvirtinti savo vietose.

## IV. PROGRAMINĖS ĮRANGOS KŪRIMAS IR ALGORITMŲ TAIKYMAS

### 4.1. Autonominio valdymo sistema

Mūsų sukurtą autonominio valdymo sistemą galima lyginti su įprasto, krovininio laivo autonomine valdymo sistema (15 pav.). Ją sudaro trys pagrindiniai elementai: navigacinė sistema, valdymo sistema, nukreipimo sistema.

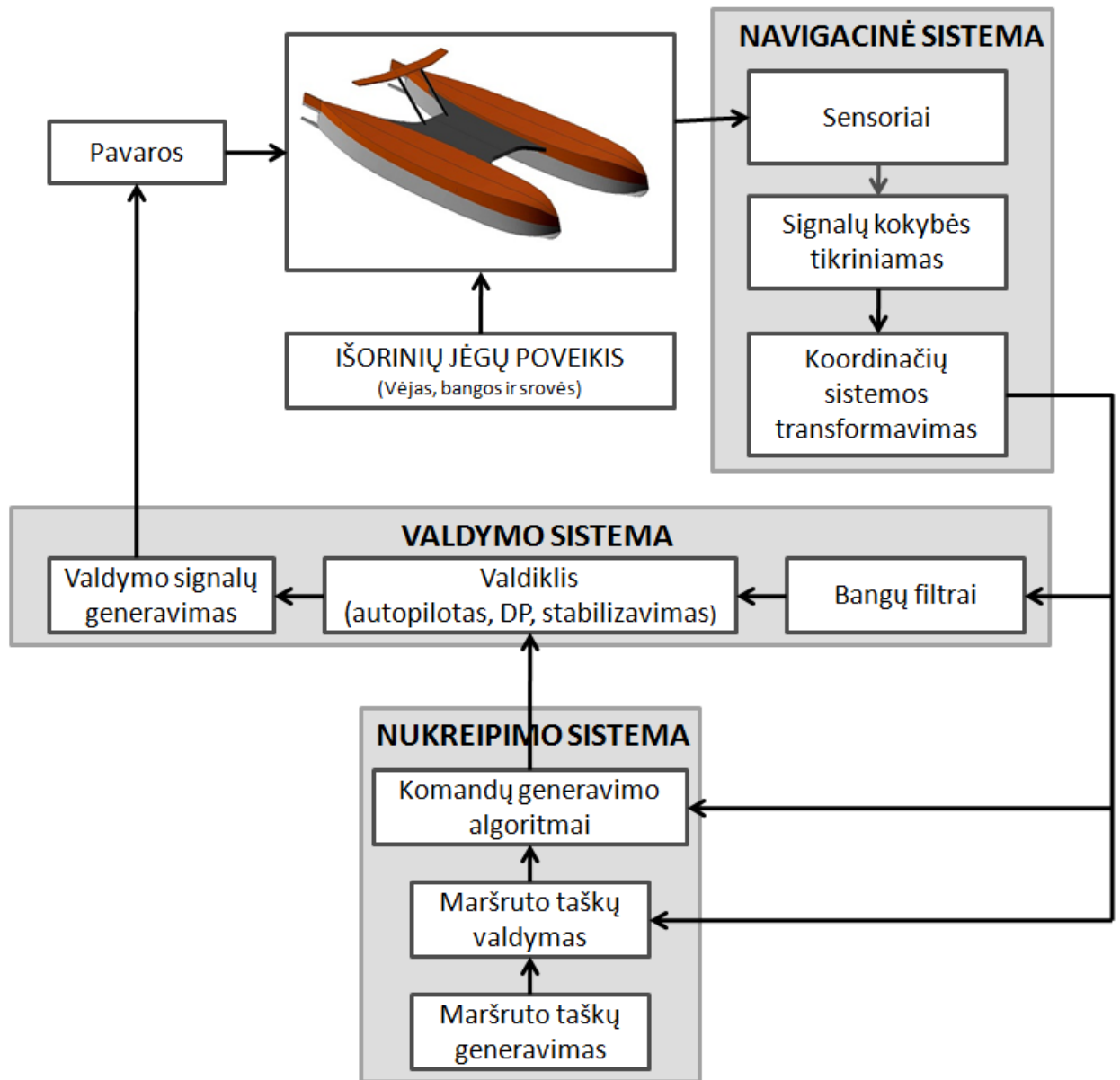
Navigacinės sistemos užduotis yra laivo padėties nustatymas ir duomenų, gautų iš sensorių apdorojimas. Laivo padėčiai nustatyti naudojami sensoriai yra: GPS, radarai, giroskopai, akcelerometrai, kompasai, ir kt.

Navigacija kaip terminas reiškia navigacijos pradžią arba pabaigą laikotarpio, kai esant tam tikroms hidrometeorologinėms sąlygoms, laivyba galima arba negalima. Navigacija kaip mokslas nagrinėja šiuos klausimus:

- saugaus ir naudingo kelio parinkimas, įskaitant visas galimas plaukimo sąlygas;
- plaukimo pasirinktu keliu kontrolė skaičiuotų laivo vietų nustatymais;
- kontrolinis laivo vietos nustatymas (observacija) vizualiniais ir radiotechniniais objektų stebėjimo metodais;
- hidrometeorologinių veiksnių įtaka pasirinktam laivo keliui;
- galimų laivo kelio skaičiavimo ir kontrolinio vietos nustatymo klaidų analizė.

Nukreipimo sistemos užduotis yra generuoti maršruto taškus, jie gali būti užduodami tiesiogiai vartotojo, arba, atliekant tam tikras užduotis, pvz. kito laivo dubliavimas, taškus generuoja pati sistema. Maršruto taškai yra pagrindinė informacija dirbant su GPS įranga. Juos galima valdyti paprastai – naudojant jūrlapius (žemėlapius) bei matavimo priemones, o įvedinėti rankiniu būdu. Kitas būdas pusiau automatizuotas, kai naudojama programinė įranga. Šiuo metu yra sukurta daug mokamos ir atviro kodo programinės įrangos, kuria galima patogiai valdyti maršruto taškus. Kuriant judėjimo kelią, galima įtraukinėti papildomus maršruto taškus, ištrinti senus, arba kelią sudalinti į daugelį mažų atkarpų. Sukurti maršruto taškų failai įrašomi į GPS įrenginį.

Valdymo sistema atliekama daviklių duomenų filtravimą, bei generuoja valdymo signalus. Dėl ypatingai didelio tikslumo, ir darbinio dažnio šiuolaikiniai davikliai kartu su reikiama informacija, taip pat pateikia ir daug nereikalingos, klaidingos informacijos. Šiai problemai spręsti yra naudojami matematiniai filtrai. Vienas iš populiariausių tokio tipo filtrų yra Kalmano filtras.



15 pav. Autonominio judėjimo sistema

Kalmano filtras – rekursinis filtras, kuris nuspėja tiesinio dinaminio proceso būseną pagal matavimus, kurie gaunami su triukšmu. Jis pavadintas garbei Rudolfui E. Kalmanui, kuris 1960m. paskelbė straipsnį apie šį filtrą. Kalmano filtro darbą kiekviename žingsnyje galima suskirstyti į dvi fazes: prognozavimo ir korekcijos.

Be šio daviklių duomenų filtravimo yra ir kitas, kuris skirtas filtruoti pirminio žadinimo virpesius nuo antrinio žadinimo virpesių.

Aprašant bangų sukeltą judesį priimsime, bangos yra begalinio pločio, sukeltos vėjo. Bangų kurių periodas yra  $5s < T_0 < 20s$  dominuojantis dažnis  $f_0$  pagal Piersono-Maskowitzo bangų spektrą yra:

$$0,05 < f_0 < 0,2(\text{Hz})$$

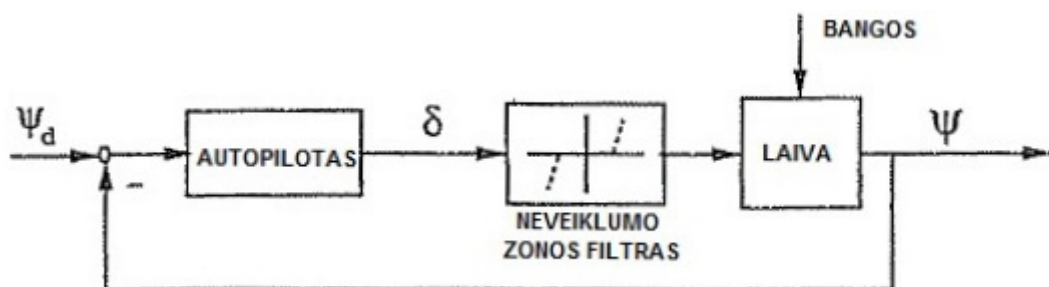
Šio dažnio bangos sukuria dideles periodiškai veikiančias jėgas ir momentus. Jos vadinamos pirmojo žadinimo jėgos ir momentai (anglų k. – 1st-order wave). Prie periodinio svyravimo prisideda ir jėga atsirandanti dėl antrojo žadinimo poveikio kurį sukelia vėjas ir srovė. Antrojo žadinimo sukeltas dreifas gali būti kompensuojamas autopilotu, tačiau pirmojo žadinimo bangavimą kurio dažnis yra apie  $0,1\text{Hz}$  autopilotas yra arba arti galimybių ribos arba visai nepajėgus kompensuoti, dėl nepakankamo mašinų veikimo greičio ir didelio inertiškumo. Bet kokiu atveju trikdžiai sukelti pirmos eilės bangavimo yra perduodami į autopiloto sistemą. Tam kad sistema nekompensuotų šio bangavimo sukeltų svyravimų, įeinančius duomenis apie laivo svyravimą reikia filtruoti. Tai vadinama bangų filtravimu. Norint to pasiekti yra įprasta manyti jog suminis laivą kaip dinaminę sistemą veikia pirmojo ir antrojo žadinimo virpesiai.

Esant skirtingoms laivo valdymo užduotims, reikia valdyti skirtingus judesius:

- Valdomi tik lėti judesiai (autopilotai, dinaminio pozicionavimo sistemos, pozicijos fiksavimo sistemos).
- Valdomi tik periodiniai judesiai (vertikalaus, bortinio, kilinio supimosi stabilizavimas).
- Valdomi abu judesiai (dinaminio pozicionavimo sistemos su kiliniu ir kiliniu stabilizavimu audringoje jūroje, kurso palaikymas su bortiniu stabilizavimu).

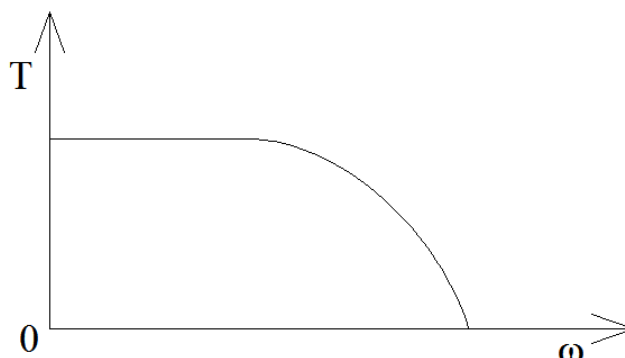
#### 4.2. Duomenų filtravimas

Neveiklumo zonos filtras (16 pav.) valdyme plačiai naudojamas didelio dažnio vairo judesių slopinimui. Šio filtro trūkumas yra tas, jog be didelio dažnio judesių slopinami yra ir mažos amplitudės didelio dažnio judesiai. Tai neigiamai įtakoja autopiloto galimybę išlaikyti kursą. Neveiklumo zonos filtras kombinacijoje su integraliniu poveikiu valdiklyje sukelia nepageidaujamą svyravimą apie nustatytą kursą, tai padidina pasipriešinimą laivo judėjimui, o tai sekoje padidina kuro sąnaudas. Todėl yra siūloma naudoti sudėtingesnes technologijas rekomenduojamas modernioms laivo valdymo sistemoms.



16 pav. Neveiklumo zonos filtras

Aukšto dažnio vairo judesiai gali būti slopinami panaudojant žemo dažnio filtrą (anglų k. – Low-pass filter). Šis filtras praleidžia žemo dažnio virpesius, o aukšto dažnio virpesių amplitudė sumažinama.



17 pav. Žemo dažnio filtras

Kaip alternatyva tradiciniams metodams, pirmojo žadinimo bangų filtravimui galima naudoti menamo stebėtojo metodą. Be to šiuo metodu galima išskirti žemo tiek aukšto dažnio svyravimų komponentes iš bendros sistemos kurios duomenys gauti su dideliu triukšmu ir klaidomis. Šio metodo esmė yra ta jog sukuriamas tikslus laivo ir antrojo žadinimo bangų modeliai.

### 4.3. Autopiloto režimai

- Rankinis režimas. Dirbant šiuo režimu, autopilotas yra budėjimo būsenoje, o komandos pavaroms yra duodamos rankiniu būdu.
- Kursinio kampo režimas. Dirbant šiuo režimu, laivas juda pastoviu, pasirinktu, kursiniu kampu  $\psi_d$ , autopiloto užduotis yra koreguoti esamą kursinį kampą. Šiam darbo režimui reikalingi tiktais giroskopo arba kompasu matavimų duomenys.
- Kurso režimas. Dirbant šiuo režimu, laivas juda pastoviu, pasirinktu kursu. Kursinis kampas yra nustatomas iš judėjimo kurso  $\gamma_d$  ir dreifo kampo  $\beta$ .
- Maršruto taškų režimas. Dirbant šiuo režimu, sistema siekia laivą nuvesti į nustatytą maršruto tašką. Kursiniam kampui nustatyti naudojama esama pozicija ir nustatytas dreifo kampas. Toliau valdymo sistema generuoja trajektoriją kuri kompensuoja nukrypimą nuo kelio, tam kad pasiekti pasirinktą nustatytą tašką. Šis režimas skirtas tik vienam maršrutiniam taškui.
- Kelio režimas. Dirbant šiuo režimu, laivas seka nustatytu maršrutu, kurį sudaro daugelis maršruto taškų. Nuolatos egzistuoja tik viena linija einanti tarp dviejų maršruto taškų, laivui pasiekus numatytą maršruto tašką, tikslu tampa kitas nustatytas taškas. Šiam režimui reikalingi

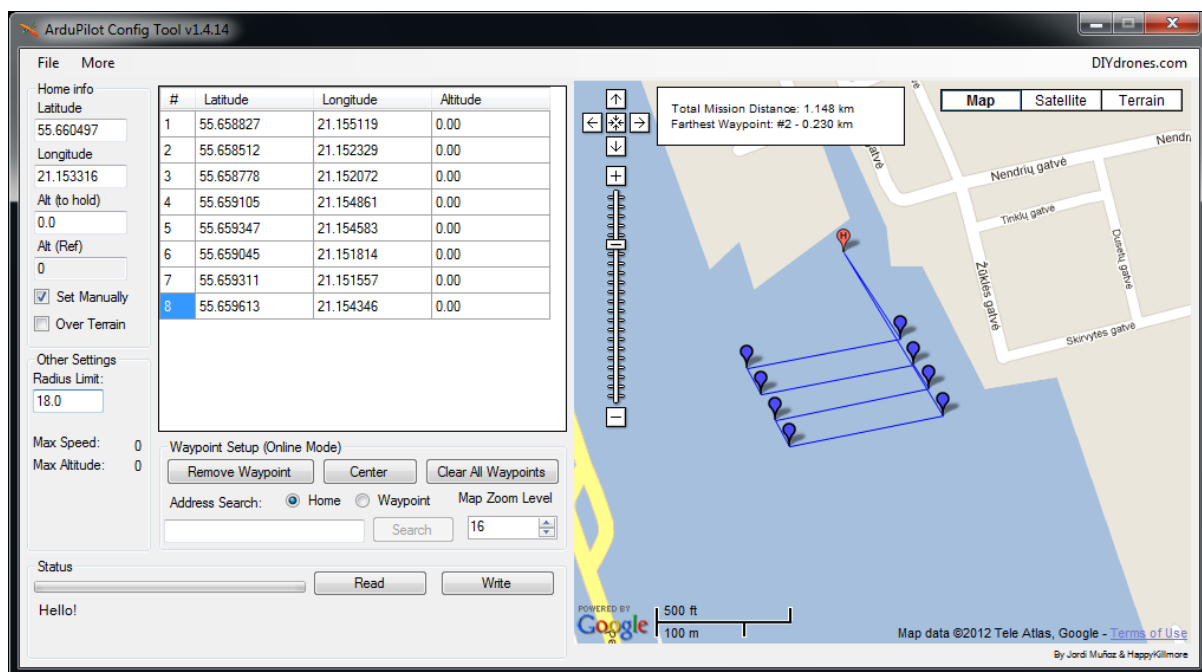
kursinio kampo, geografinės padėties ir greičio duomenys. Taip pat reikalinga įranga administruoti maršruto taškams.

Kiekvienos sistemos sudėtingumas, laisvės laipsnių skaičius ir matematinis modelis skiriasi. Pavyzdžiui, standartiniams kurso kontrolės autopilotams modeliuoti reikalinga vingiavimo ir skersinio supimo informacija. Modeliuojant kreną atsirandantį pasisukus vairui, reikalinga bortinio supimosi informacija. Laivo valdomo dinaminio pozicionavimo sistema, modeliui sukurti, pilnai pakanka modelio aprašančio padėtį horizontalioje plokštumoje, tai yra: išilginio, skersinio ir vingiavimo judėjimo duomenys. Taigi laivo valdymui aprašyti galima naudotis 4 laisvės laipsniais, atsisakant vertikalios ir kilinio supimosi duomenų.

#### 4.4. UBASUV valdymo sistemai pritaikyti algoritmai

Pradinis tikslas yra sukurti tokią sistemą, kad vartotojas, galėtų paprastai ja naudotis. Sistema turės du valdymo režimus tai yra nuotolinis rankinis ir autonominis sekant maršruto taškus.

Dirbant nuotoliniu rankiniu būdu, servo varikliai, vairo padėties valdymui, ir variklių apsukos valdomos nuotolinio valdymo pulto pagalba, signalas perduodamas skaitmeniniu būdu 2,4Ghz dažnių juosta. Dirbant autonominiu režimu, sistemai komandas duos mikroprocesorius.



18 pav. Maršruto taškų generavimas

Atsižvelgiant į trūkumus pastebėtus kitų autorių darbuose, mūsų sistema suprojektuota taip, kad ją būtų galima pritaikyti daugeliui plaukiojančių platformų, o naudojimasis ja būtų nesudėtingas. Darbą su sistema galima išskaidyti į etapus:

Įrenginio paruošimas darbui: Operatorius naudodamasis elektroniniu žemėlapiu (18 pav.) nusistato maršruto taškus, kuriuos įrenginys turės pasiekti. Maršruto taškai surašomi į bylą kurioje surašytos kiekvieno taško ilgumos ir platumos, bei taškų seka.

Maršruto taškai eilės tvarka surašomi į kodą, kuris bus įrašomas į mikroprocesorių ar kompiuterį, mūsų kuriamu atveju naudojamas mikroprocesorius Arduino Duemilanove 328 aprašytas 3 skyriuje.

Įrenginio darbas: atvykus į darbo zoną, įrenginys nuleidžiamas į vandenį. Darbą galima pradėti įrenginį rankiniu būdu išvedant į atvirą akvatoriją kurioje yra darbo zona, jeigu darbo zonos neužstoja kiti objektai galima paleisti įrenginio autonominio valdymo sistemą, komandą duodant iš nuotolinio valdymo pulto.

Toliau darbą atlieka mikroprocesorius, ir sukurtas algoritmas. Pagal 19 pav. pateiktą schemą vyksta duomenų apdorojimas mikroprocesoriuje:

- Pirmas žingsnis tai esamos padėties nustatymas, tai yra atliekama nuskaitant GPS duomenis, šiame projekte naudojamo imtuvo parametrai 3 skyriuje.

- Antras žingsnis yra atstumo tarp esamos vietos ir maršruto taško nustatymas, mikroprocesorius panaudoja kode įrašytus maršruto taškus.

- Nustatomas pelengas į maršruto tašką.

- Nuskaitomi duomenys iš kompasas, ir nustatomas laivo kursas, projekte panaudoto kompasas specifikacija pateikta 3 skyriuje.

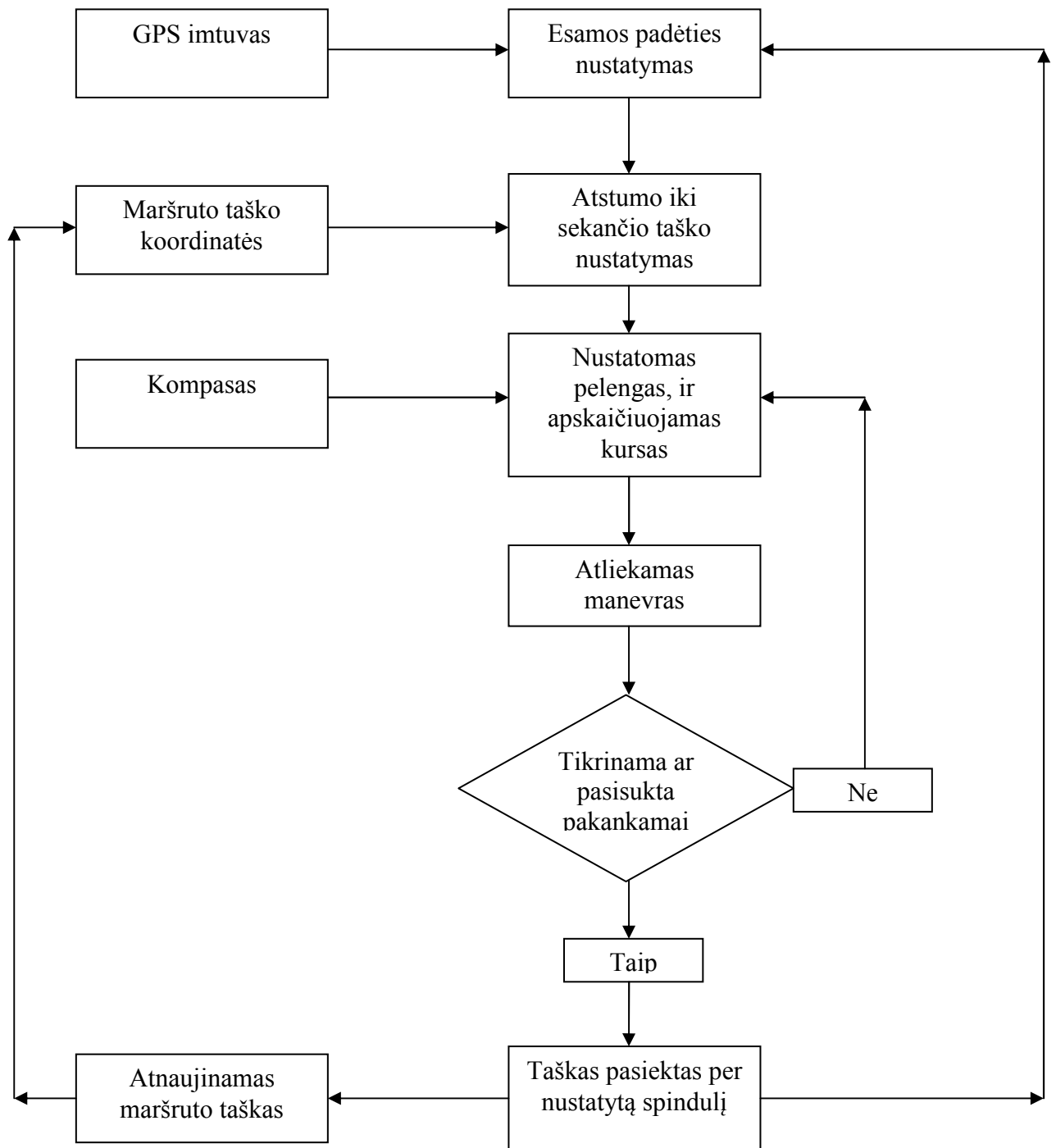
- Palyginamas kursas su pelengu, tam kad žinoti kiek reikia pasisukti.

- Atliekamas pasukimas ir pradedamas judėjimas, suprojektuoto katamarano valdymas bus atliekamas vairų pagalba, kuriuos valdys servo pavaros, pavarų pasirinkimas aprašytas 3 skyriuje. Katamarano manevravimą taip pat pakankamai gerai galima atlikti išjungiant vieno korpuso variklius, norint tai įgyvendinti reikėtų atlikti pakeitimus kode.

- Patikrinama ar pasisukta pakankamai jeigu pasisukta nepakankamai, kartojamas pasisukimo veiksmas.

- Priartėjus prie taško atitinkamu spinduliu, kuris yra nustatytas algoritme, perjungiamas maršruto taškas į sekantį.

Sukurtas algoritmas, yra nesudėtingas todėl neapkrauna procesoriaus. Duomenys iš GPS imtuvo atnaujinami kas 1 sekundę.



19 pav. Maršruto taškų navigacijos algoritmas

#### 4.5. Prototipo natūriniai bandymai

Pagal sukurtą metodiką ir naudojant parinktąją įrangą buvo sukurtas katamarano modelio prototipas UBASUV (žr. 1 priedas). Kurio pagrindiniai matmenys yra:

- Didžiausias ilgis  $L_{\max} = 1,25m$ ,
- Konstrukcinė vaterlinijos ilgis  $L_{KWL} = 1,23m$ ,
- Didžiausias plotis  $B_{\max} = 0,6m$ ,

- Korpuso plotis  $B = 0,18m$ ,
- Grimzlė  $d = 0,075m$ .

Dėl didelės gamybos darbų apimties, sistemos natūriniai bandymai neatlikti, atliktas tikėtai statinis modelio taravimas. Artimiausiu metu ketinama baigti valdymo sistemos montavimo darbus ir atlikti natūrinius bandymus akvatorijoje. Atliekamais bandymais tikimasi patikrinti sukurtos valdymo sistemos veikimą ir patikimumą. Nustatyti katamarano valdomumo parametrus, patikrinti vairavimo galimybę stabdant vieno korpuso variklį.

## IŠVADOS

- Atlikus literatūros analizę, buvo nustatyta, jog šiuo metu dar mažai pasiekta automatizuojant, įrenginių judančių vandens paviršiumi, judėjimą. Smarkiai pažengę yra nepilotuojami orlaiviai, bei žemės paviršiumi judantis transportas. Daug dėmesio skiriama buriniams laivams, vienkorporiniams, dvikorporiniams motoriniams laivams. Tačiau sukurti plaukiojantys įrenginiai yra nepakankamai universalūs ir tobuli.

- Atlikus literatūros analizę, sukurta metodika mažagabaričio plaukiojančio įrenginio valdymo sistemos kūrimui, metodika leis efektyviai parinkti valdymo sistemos komponentus, taip pat, bus pagrindas tolimesniuose tyrimuose, pereinant prie aplinkos atpažinimo ir autonominio susidūrimų išvengimo sistemos.

- Pagal šią metodiką, sukurta valdymo sistema ir parinkti jos elementai, katamaranui UBASUV. Atlikta elementų analizė ir aprašytas jų veikimo principas.

- Naudojantis pagamintu prototipu bus atliekami natūriniai eksperimentai.



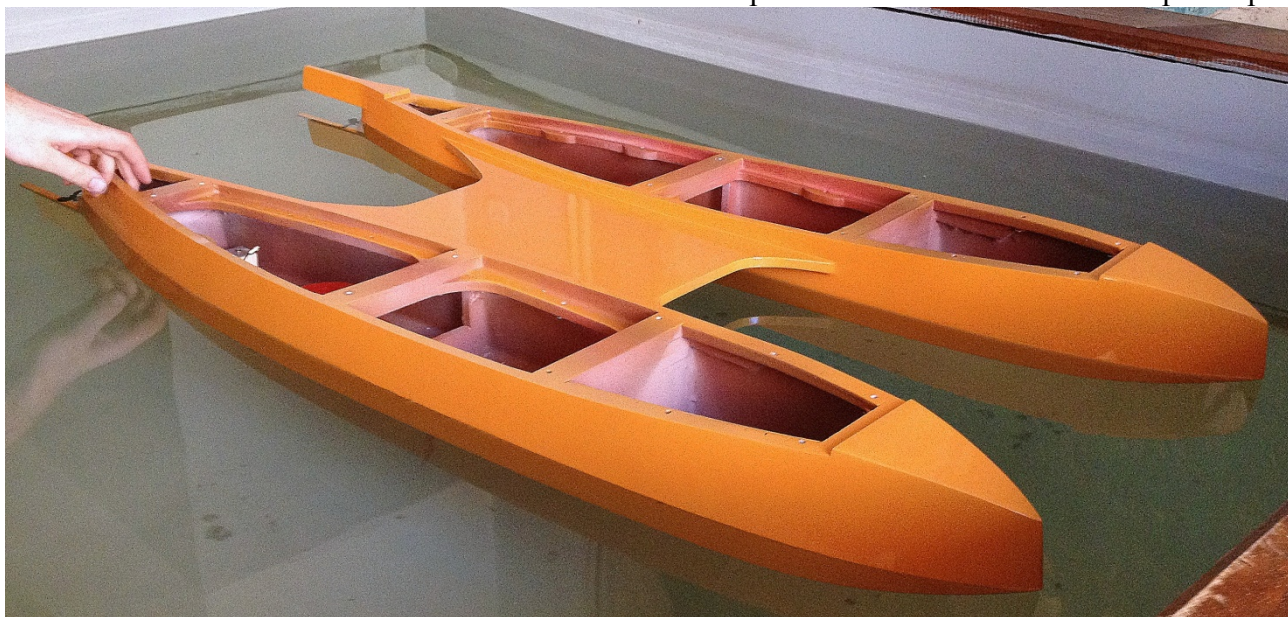
## LITERATŪROS SĄRAŠAS

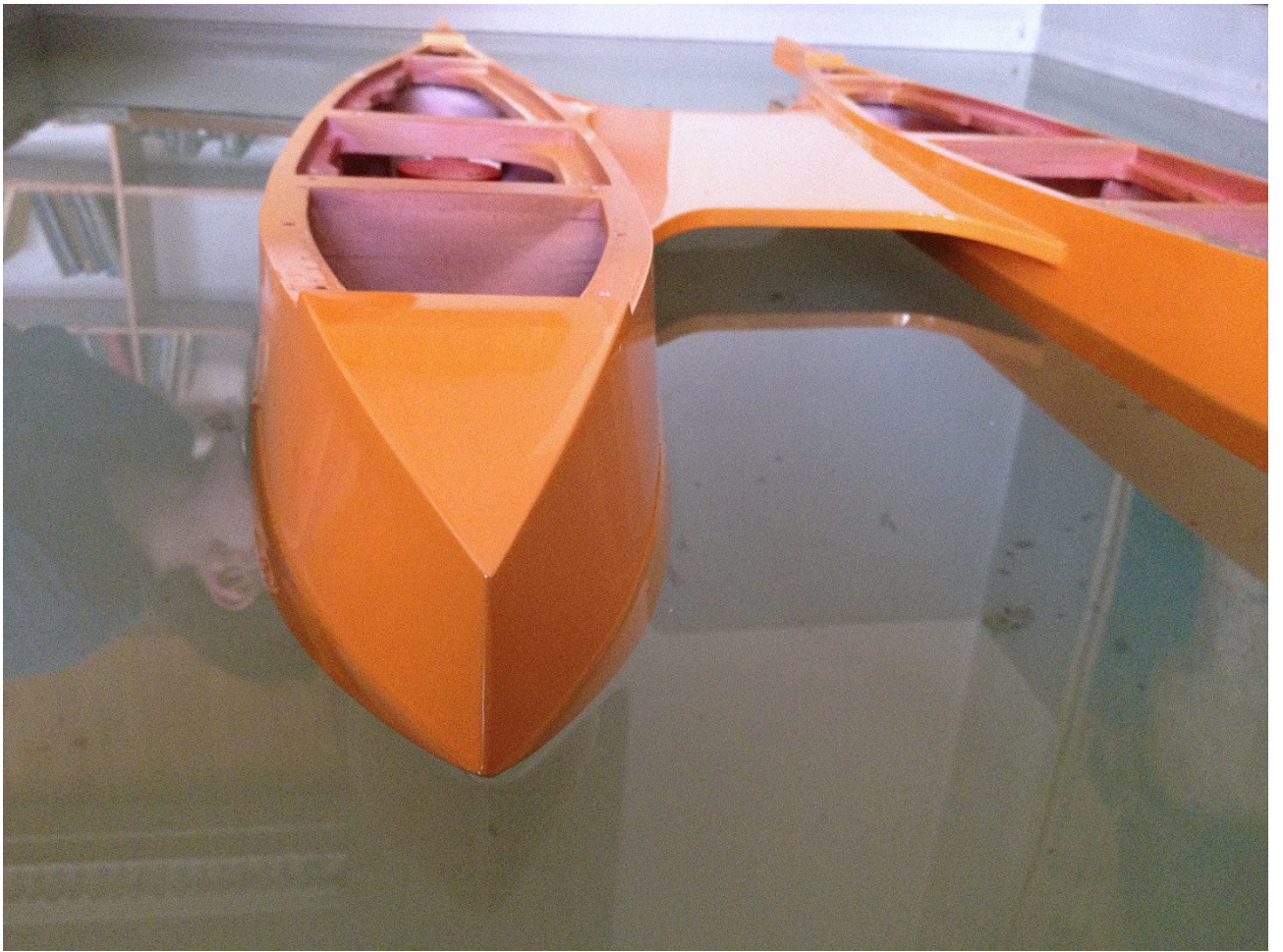
1. Breivik, M., et. al., 2008 Straight-Line Target Tracking for Unmanned Surface Vehicles. Modeling, Identification and Control, 29, 4,p.131-149.
2. Burch, M. H., 2002. Accurate waypoint navigation using non-differential GPS. Center. San Diego, USA: Space and Naval Warfare Systems.
3. Čerka, J., 1997. Laivo teorija. Klaipėda: Klaipėdos Universiteto leidykla.
4. Dyachkov V., Žapnickas T., Narušis E., 2011. Conceptual Design of Unmanned Bathymetry Survey Vehicle. Transport Means 2011, Nr 15 207-210 p.
5. Fossen, T. I. 1998. Guidance and Control of Ocean Vehicles. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
6. Geoff, R. et. Al. 2008. Advances in Unmanned Marine Vehicles. United Kindom: MPG Books Ltd.
7. He, B., 2009. The design of an unmanned aerial vehicle based on the ArduPilot. *Indian Journal of Science and Technology*. 4 Vol. 2
8. Henrik, F., 2010. Autopilot Prototype. School of Computer Science and Engineering. Royal Institute of Technology
9. Hitz G, Pomerleau F, Garneau M-È, Pradalier C, Posch T, Pernthaler J, Siegwart R (2011) Lizabeth: Toward autonomous toxic algae bloom monitoring. Workshop on Robotics for Environmental Monitoring (organizers: L. Marques, R. Smith and V. Isler), IROS 2011, Sept 25-30, San Francisco, California
10. Michael H. Bruch, G. A. Gilbreath, J. W. Muelhauser, J. Q. Lum. Accurate waypoint navigation using non-differential GPS. Space and Naval Warfare Systems Center. San Diego.
11. Narušis E., Žapnickas T., Djačkov V., 2012. Autonominio plaukiojančio įrenginio valdymo sistemos sukūrimo galimybių analizė. Technologijos mokslo darbai vakarų Lietuvoje, Nr. 8 124-126 p.
12. Newman, P. 2010. Unmanned vehicles for shallow and coastal waters. Canterbury: Douglas-Westwood Limited.

13. Orientation Paper. Proposed priorities and topics for Work Programme 2012
14. Perez, T., 2005. Ship motion control : course keeping and roll stabilisation using rudder and fins. London: Springer.
15. Pratap, T., Andrew S., Deepak, B., Volkan, I., 2010. Robotic System for Monitoring Carp in Minnesota Lakes. *Journal of Field Robotics*. 27 (6) p 779-789
16. Rekdalsbakken. W., Styve. A. 2008. Simulation of intelligent Ship Autopilots. Aalesund, Norway: Institute of Technology and Nautical Science.
17. Robert, M., 2011. *Konzeption eines autonomen Segelboots und Realisierung eines Reaktions-Prototyps*. Fachhochschule Brandenburg
18. Roberts, G. N.et. al., 2006. Advances in Unmanned Marine Vehicles. Herts, United Kingdom: The Institution of Engineering and Technology.
19. Skeivalas, J. 2008. GPS tinklų teorija ir praktika. Vilnius: Technika.
20. Stonkus, V. 2006. Laivo teorija. Klaipėda: Klaipėdos Universiteto leidykla.
21. Vilma Kriauciūnaitė-Neklejonovienė. Vandens telkinio gylio matavimo aplinkos tyrimuose ypatumai. Kauno kolegija.

## **PRIEDAI**

1 priedas. Katamarano UBASUV prototipas





```

#include <Servo.h>
#include <NewSoftSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
#include <Wire.h>
#define speedesc 125
int reverse=0;
int HMC6352Address = 0x42;
int slaveAddress;
byte headingData[2];
int i, headingValue;
    float flat, flon;
    float heading=0;
int headinggps;
int buzzing;
int buttonreaddone;
Servo servo;
Servo esc;
TinyGPS gps;
NewSoftSerial nss(8, 11);
#define buzzer 7
int radius;
int x4=0;
#define buttons 0
int waypoints=2
int waycont=1;
float x2lat;
float x2lon;
float flat2=55.672271; //waypoint 1
float flon2=21.172700;
float flat3=55.673059; //waypoint 2
float flon3=21.169710;
void gpsdump(TinyGPS &gps);
bool feedgps();
void printFloat(double f, int digits = 2);
int serv;
void setup()
{
    slaveAddress = HMC6352Address >> 1;
Wire.begin();
    Serial.begin(115200);
    nss.begin(4800);
    pinMode(buzzer, OUTPUT);
    pinMode(buttons, INPUT);
servo.attach(9);
esc.attach(10);
esc.write(80);
delay(5000);
buzz();
}

```

```

void loop()
  bool newdata = false;

  unsigned long start = millis();
  while (millis() - start < 250)
  {
    if (feedgps())
      newdata = true;
  }
  if (newdata)
  {
    Serial.println("Acquired Data");
    Serial.println("-----");
    gpsdump(gps);
    Serial.println("-----");
    Serial.println();
  }
}

void printFloat(double number, int digits)
{
  if (number < 0.0)
  {
    Serial.print('-');
    number = -number;
  }
  double rounding = 0.5;
  for (uint8_t i=0; i<digits; ++i)
    rounding /= 10.0;
  number += rounding;
  unsigned long int_part = (unsigned long)number;
  double remainder = number - (double)int_part;
  Serial.print(int_part);
  if (digits > 0)
    Serial.print(".");
  while (digits-- > 0)
  {
    remainder *= 10.0;
    int toPrint = int(remainder);
    Serial.print(toPrint);
    remainder -= toPrint;
  }
}

void gpsdump(TinyGPS &gps)
{
  long lat, lon;
  unsigned long age, date, time, chars;
  unsigned short sentences, failed;
  feedgps();
  gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
  Serial.print("Lat/Long(float): "); printFloat(flat, 7); Serial.print(", "); printFloat(flou, 7); // print
  our current position

```

2 priedas (tęsinys)

```
Serial.print(" Fix age: "); Serial.print(age); Serial.println("ms.");  
feedgps();
```

2 priedas (tęsinys)

```
gps.stats(&chars, &sentences, &failed);  
Serial.print("Stats: characters: "); Serial.print(chars); Serial.print(" sentences: ");  
Serial.print(sentences); Serial.print(" failed checksum: "); Serial.println(failed);  
if(buttonreaddone!=5){  
  buttonread();  
}  
if(buttonreaddone==5){  
distance();  
}  
}  
}  
bool feedgps()  
{  
while (nss.available())  
{  
  if (gps.encode(nss.read()))  
    return true;  
}  
return false;  
}  
void distance(){  
  if(waycont==1){  
x2lat = flat2;  
x2lon = flon2;  
  }  
  if(waycont==2){  
x2lat = flat3;  
x2lon = flon3;  
  }  
float flat1=flat;  
float flon1=flon;  
float dist_calc=0;  
float dist_calc2=0;  
float diflat=0;  
float diflon=0;  
diflat=radians(x2lat-flat1);  
flat1=radians(flat1);  
x2lat=radians(x2lat);  
diflon=radians((x2lon)-(flon1));  
dist_calc = (sin(diflat/2.0)*sin(diflat/2.0));  
dist_calc2= cos(flat1);  
dist_calc2*=cos(x2lat);  
dist_calc2*=sin(diflon/2.0);  
dist_calc2*=sin(diflon/2.0);  
dist_calc +=dist_calc2;  
dist_calc=(2*atan2(sqrt(dist_calc),sqrt(1.0-dist_calc)));  
dist_calc*=6371000.0;  
Serial.println("distance");  
Serial.println(dist_calc);  
if(dist_calc<radius){
```

```
while(waycont==waypoints){
  buzz();
```

2 priedas (tęsinys)

```
  esc.write(80);
  delay(3000);
  if(reverse==0){
    esc.write(60);
    delay(1000);
    reverse=1;
  }
  }
  waycont+=1;
  }
  current locaiton
  flon1 = radians(flon1);
  x2lon = radians(x2lon);
  heading = atan2(sin(x2lon-flon1)*cos(x2lat),cos(flat1)*sin(x2lat)-sin(flat1)*cos(x2lat)*cos(x2lon-
  flon1)),2*3.1415926535;
  heading = heading*180/3.1415926535;
  int head =heading;
  if(head<0){
    heading+=360;
  }
  Serial.println("heading:");
  Serial.println(heading);
  int turn=0;
  Wire.beginTransaction(slaveAddress);
  Wire.send("A");
  Wire.endTransmission();
  delay(10);
  Wire.requestFrom(slaveAddress, 2);
  i = 0;
  while(Wire.available() && i < 2)
  {
    headingData[i] = Wire.receive();
    i++;
  }
  headingValue = headingData[0]*256 + headingData[1];
  int pracheading = headingValue / 10; // this is the heading of the compass
  if(pracheading>0){
    headinggps=pracheading;
  }
  x4=headinggps-heading;
  int x5;
  if(x4>=-180){
    if(x4<=0){
      turn=8;
    }
  }
  }
  if(x4<-180){
    turn=5;
  }
  }
```

```

if(x4>=0){
  if(x4<180){

    turn=5;
  }
}
if(x4>=180){
  turn=8;
}
float hd = headinggps;
if(hd==heading){
  turn=3;
}
if(turn==3){
  servo.write(90);
  esc.write(speedesc);
  delay(60);
}
if(turn==8){
  rightturn();
}
if(turn==5){
  leftturn();
}
}
}
void done(){
  esc.write(70);
  done();
}
void rightturn(){
if(headinggps+2>heading){
  if(headinggps-2<heading){
    servo.write(90);
    delay(60);
    return;
  }
}
}
x4=headinggps-heading;
if(x4<-180){
  return;
}
if(x4>=0){
  if(x4<180){
    return;
  }
}
servo.write(80);
esc.write(speedesc);
Wire.beginTransaction(slaveAddress);
Wire.send("A");
Wire.endTransmission();
delay(10);

```

2 priedas (tęsinys)

```

Wire.requestFrom(slaveAddress, 2);
i = 0;

while(Wire.available() && i < 2)
{
  headingData[i] = Wire.receive();
  i++;
}
headingValue = headingData[0]*256 + headingData[1];
headinggps = headingValue / 10;
rightturn();
}
void leftturn(){
  if(headinggps+4>heading){
  if(headinggps-4<heading){
  servo.write(90);
  delay(60);
  return;
  }
}
x4=headinggps-heading;
if(x4>=-180){
  if(x4<=0){
    return;
  }
}
if(x4>=180){
  return;
}
servo.write(110);
esc.write(speedesc);
Wire.beginTransmission(slaveAddress);
Wire.send("A");
Wire.endTransmission();
delay(10);
Wire.requestFrom(slaveAddress, 2);
i = 0;
while(Wire.available() && i < 2)
{
  headingData[i] = Wire.receive();
  i++;
}
headingValue = headingData[0]*256 + headingData[1];
headinggps = headingValue / 10;
leftturn();
}
void buttonread(){
  int butval= analogRead(buttons);
  if(waypoints>0){
  if(butval<100){
    buttonreaddone=5;
    buzz();

```

2 priedas (tęsinys)

```
    return;
}
}
if(waypoints==0){
    if(butval<100){
        radius+=1;
        buzz();
        return;
    }
}
    if(butval>600){
        if(waypoints==0){
            flat2=flat;
            flon2=flon;
            waypoints+=1;
            buzz();
            return;
        }
        if(waypoints==1){
            flat3=flat;
```

2 priedas (tęsinys)

3 priedas. Straipsnis žurnale „Technologijos mokslo darbai vakarų Lietuvoje“

TECHNOLOGIJOS MOKSLO DARBAI  
VAKARŲ LIETUVOJE  
VIII  
2012 m. gegužės mėn. 18 d.



Mokslinė konferencija „Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje“ rengiama kas dveji metai ir yra jau 8-asis renginys. Konferencijos tikslas – suburti mokslininkus ir gamybininkus plėtojant jūrų ūkio mokslinę ir technologinę integraciją.

#### **Mokslinis komitetas**

*Pirmininkas:* prof. dr. Rimantas Didžiokas, Klaipėdos universiteto plėtros ir infrastruktūros prorektorius

*nariai:*

prof. dr. Arūnas Andziulis, Klaipėdos universiteto Informatikos inžinerijos katedros vedėjas;  
prof. habil. dr. Vytautas Paulauskas, Klaipėdos universiteto Laivybos katedros vedėjas;  
prof. habil. dr. Vytenis Zabukas, Klaipėdos universiteto Technologinių procesų katedros profesorius;  
prof. habil. dr. Sergejus Lebedevas, Klaipėdos universiteto Laivų mechanikos katedros vedėjas.

#### **ORGANIZACINIS KOMITETAS**

**Pirmininkė:** doc. dr. R. Mickevičienė,  
KU Jūrų technikos fakulteto dekanė

**Nariai:**

prof. dr. A. Andziulis, doc. dr. J. Čerka, doc. dr. E. Guseinoviėnė,  
doc. dr. J. Janutėnienė, doc. dr. T. Paulauskienė,  
lekt. dr. D. Narmontas, doc. dr. P. Mažeika

#### **KONFERENCIJOS KOORDINATORIUS**

**doc. dr. Jonas Čerka**  
tel.: 8 (46) 398691, 8 (46) 398690  
el. paštas: jonas.cerka@ku.lt

#### **KONFERENCIJOS SEKCIJOS**

##### **ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS INŽINERIJĄ**

*Pirmininkė:* E. Guseinoviėnė, el. paštas: ek.jtf@ku.lt, guseinoviene@gmail.com, tel.: 8 (46) 398 686;  
*Mokslinis sekretorius:* Audrius Senulis el. paštas: audriussenulis@yahoo.com, tel.: 861483468, 8(46)398685.

##### **INFORMATIKOS INŽINERIJĄ**

*Pirmininkas:* A. Andziulis, el. paštas: arunas@ik.ku.lt, tel.: 8 (46) 398 986;  
*Sekretorė:* L. Brazdeikienė, el. paštas: iik.jtf@ku.lt, tel.: 8 (46) 398 986.

##### **TECHNOLOGIJŲ PLĖTRA IR APLINKOSAUGA**

*Pirmininkas:* V. Zabukas, el. paštas: alvyza@gmail.com, tel.: 8 (46) 398 696;  
*Sekretorė:* Rasa Butkutė, el. paštas: butkute.rasa@gmail.com, tel.: 867244109.

##### **STATYBOS INŽINERIJĄ**

*Pirmininkė:* L. Vasiljeva, el. paštas: larisa.vasiljeva@ku.lt, vas.lora@gmail.com, tel.: 8 (46) 398 694;  
*mob.tel.:* 8620 31016;  
*Sekretorius:* M. Anužis, el. paštas: mantas.anuzis@gmail.com, tel.: 8611 67738.

##### **MECHATRONINĖS SISTEMOS**

*Pirmininkė:* J. Janutėnienė, el. paštas: jolanta.januteniene@ku.lt, tel.: 8 (46) 398 693;  
*Sekretorė:* D. Vaupšienė, el. paštas: danuval@yahoo.com; mik.jtf@ku.lt, tel.: 8 (46) 398 692.

##### **LAIVO INŽINERIJĄ**

*Pirmininkas:* V. Djačkov, el. paštas: vasilijd@takas.lt, tel.: 860941478;  
*Sekretorė:* I. Panasiuk, el. paštas: irina.panasiuk@gmail.com, tel.: 8 (46) 398 692; 860423666.

#### **Recenzantai**

doc. dr. B. Andziulienė; prof. dr. A. Andziulis; prof. habil. dr. A. A. Bielskis; prof. habil. dr. M. Bogdevičius;  
doc. dr. V. Bulbenkienė; doc. dr. J. Čerka; prof. dr. V. Denisov; doc. dr. V. Djačkov; doc. dr. E. Guseinoviėnė;  
doc. dr. J. Janutėnienė; doc. dr. L. Kosychova; doc. dr. V. Kvedaras; doc. dr. V. Lukauskas; doc. dr. P. Mažeika;  
lekt. dr. D. Narmontas; doc. dr. T. Paulauskienė; doc. dr. O. Ramašauskas; lekt. dr. A. Skaisgirienė; lekt. dr. A. Štuopys;  
dr. M. Vasylius; doc. dr. J. Vaupšas; prof. habil. dr. V. Zabukas; doc. dr. A. Žukauskaitė.

© Klaipėdos universitetas, 2012

## TURINYS

<i>A. Grinkov, R. Petkus, E. Šikšnis, A. Šipulia, A. A. Bielskis.</i> Išmanioji mikroklimato valdymo sistema .....	5
<i>J. Gerbenis, A. Senulis.</i> Tiesiaieigio švytuojamojo judesio sinchroninio žadinamojo elektros variklio-kompresoriaus kūrimo aspektai .....	11
<i>A. Knolis, E. Guseinoviėnė, V. Cirtautas.</i> Išmanaus reklaminio stendo apšvietimo valdymas panaudojant šviesos diodus ....	17
<i>A. Krivoj, J. Kupčinskas, E. Guseinoviėnė.</i> LED panaudojimo gatvių apšvietime tyrimas .....	20
<i>K. Jankauskas, G. Jankauskas, L. Vasiljeva, L. I. Vasiljeva.</i> $SU(3)$ -kanoninės tankio matricos panaudojimas skaičiuojant atomo branduolio unitariosios $U(3(A-1))$ -schemos tankio matricą .....	27
<i>K. Jankauskas, G. Jankauskas, L. A. Vasiljeva, L. I. Vasiljeva.</i> Apie branduolio modelio schemos $U(3(A-1))$ kilminio išdėstymo klasifikavimą pagal ortogonaliosios grupės kvantinius skaičius .....	30
<i>V. Jankūnas, V. Kučinskas, M. Juška.</i> Baltijos jūra – potencialus elektros energijos šaltinis.....	33
<i>K. Navickas, S. Keliotis, A. Senulis.</i> Generatorių, naudojamų mažos galios vėjo elektrinėms, palyginamoji analizė.....	38
<i>S. Petkus, M. Lukas, M. Cirtautas.</i> Elektromobilių akumuliatorių tausojimas naudojant superkondensatorius .....	43
<i>O. Lyan, E. Guseinoviėnė, A. A. Bielskis, J. Vaupšas.</i> „RGBY“ tetrachromatinio puslaidininkinių šviesos diodų (LED) šviestuvo apšvietimo kokybės tyrimas .....	47
<i>R. Mickevičienė, T. Paulauskienė.</i> Inžinerijos specialistų rengimas naujųjų jūrinių technologijų darbo rinkai .....	53
<i>S. Lebedevas, J. Žaglinskis, G. Lebedeva.</i> RRME biodegalų motoriniai tyrimai dyzelinio variklio eksploatacijos sąlygomis .....	57
<i>D. Pancerovas, D. Šateikienė.</i> Balastinio vandens valymo technologijų ypatumai .....	64
<i>I. Panasiuk.</i> Ekologiniai iššūkiai laivyboje .....	71
<i>P. Rapalis V. Daukšys.</i> Oro taršos iš įvairių laivų tipų pasiskirstymas Klaipėdos uoste ir taršos mažinimo galimybių apžvalga .....	75
<i>D. Šateikienė, J. Lenkauskas.</i> Balastinio vandens filtravimo įrangos analizė .....	80
<i>N. Strazdauskas, V. Paulauskas.</i> Durpių krovos terminalų tyrimas .....	85
<i>R. Kirjanovas, P. Mažeika, M. Vasylius.</i> Laivo-kelto „Baltija“ pagrindinio variklio virpesių tyrimas .....	90
<i>D. Šateikienė, I. Pocevičiūtė.</i> Žalioji laivyba – Balastinio vandens poveikis aplinkai .....	95
<i>D. Šateikienė, Š. Lekstutis.</i> Balastinio vandens valymo įrangos analizė .....	100
<i>I. Bernotienė, Ž. Špedt, A. Rubežienė.</i> Vizualizacijos taikymo galimybės inžinerinėje grafikoje .....	105
<i>J. Januševičiūtė.</i> Naftos ir jos produktų krantinės užimtumo rodiklio tyrimas .....	109
<i>M. Šepulis, R. Barzdžiukas.</i> Negabaritinių ir sunkiasvorių krovinių krovos įrangos uoste tyrimas .....	112
<i>T. Kungys.</i> Birių trąšų transportavimo per Klaipėdos uostą tyrimas .....	116
<i>G. Šerlinskis, A. Šilov.</i> Programinės įrangos „Autoship“ taikymas laivų projektavime.....	119
<i>E. Narušis, T. Žapnickas, V. Dyachkov.</i> Auonominio plaukiojančio įrenginio valdymo sistemos sukūrimo galimybių analizė .....	124
<i>A. Bagdonas, A. Bartkevičiūtė, J. Grigonienė, M. Malinauskaitė.</i> Energijos gamybos, naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, efektyvumo didinimo galimybės .....	127
<i>V. Bazaras, P. Mažeika, M. Vasylius, V. Kartašovas, A. Tadžijėvas.</i> Lėtaeigių rotorių guolių diagnostiniai tyrimai .....	132
<i>M. Būda, J. Mašek, V. Klapita.</i> Comparison of public logistic centers in slovakia and in selected countries .....	137
<i>K. Dimša, M. Bogdevičius.</i> Trijų segmentų hidrodinaminio guolio matematinis modelis.....	145
<i>J. Janutėnienė, M. Gintalas, A. Tadžijėvas.</i> Sluoksniuotų PET plėvelių savybių tyrimai.....	151
<i>V. Kartašovas, Ž. Kasparavičius, A. Tadžijėvas, M. Vasylius, A. Priževaitis.</i> Kintamo inercijos momento rotorinės sistemos dinaminis procesų tyrimas.....	155
<i>V. Noreika, I. Antonov, A. Pečko, R. Didžiokas.</i> Baterijų, tinkamų naudoti autotransporte, palyginamoji analizė.....	160
<i>A. Pečko, V. Bulbenkienė, R. Didžiokas, A. Senulis.</i> Ličio geležies fosfato (LiFePO <sub>4</sub> ) baterijų iškrovimo proceso tyrimai esant normaliai ir žemai temperatūrai.....	164
<i>A. Tadžijėvas, P. Mažeika, M. Vasylius, V. Kartašovas, M. Simutis.</i> Vertikalių rotorių dinamikos tyrimas.....	169
<i>R. Žygienė, P. Bogdevičius.</i> Geležinkelių bėgių defektų tyrimų problemos.....	175
<i>L. A. Vasiljeva, M. Anužis, R. Marčėnkov.</i> Vėjo jėgainių Baltijos jūroje Lietuvos akvatorijoje įrengimo galimybių analizė .....	181
<i>V. Sođenė.</i> Molingų gruntų filtracijos koeficiento nustatymo metodikos tyrimas .....	186
<i>L. A. Vasiljeva, M. Anužis, V. Bagočius.</i> Jūros vandens poveikio hidrotechniniams gelžbetoniniams statiniams analizė .....	191
<i>V. Bagočius, L. A. Vasiljeva, M. Anužis.</i> Vėjo jėgainių parkų jūroje analizė ir palyginimas .....	196
<i>B. Andžiulienė, D. Stanelytė.</i> Bendrosios Lietuvos geležinkelių informacinės sistemos dabartis ir perspektyvos.....	202
<i>E. Berzinš, E. Vitols, E. Lukošūnas, A. Andžiulis, K. Ruihys.</i> 3D spausdinimas: mechaninės savybės priklausomai nuo orientacijos .....	208
<i>R. Birškytė, G. Gricius, A. A. Bielskis.</i> Išmaniojo maitinimo bloko kūrimas elektros galios kokybės tyrimams atlikti .....	212
<i>M. Donela, S. Žukauskaitė, T. Eglynas, D. Drungilas, J. Tekutov.</i> Belaidžio ryšio projektavimas skaitmeninėms valdymo sistemoms .....	217
<i>T. Jankauskas, O. Ramašauskas.</i> Krovinių pervežimo modelio tobulinimas sprendimų teorijos priemonėmis.....	221
<i>R. Jonuškevičius, R. Lamsargis, T. Eglynas, D. Drungilas.</i> Rfid technologijos pritaikomumo kasos aparatuose tyrimas .....	226

<i>M. Kurmis, D. Dzemydienė, A. Andziulis.</i> [vairialypių paslaugų teikimo automobilių komunikacijos tinklais analizė iš sistemos perspektyvos].....	230
<i>D. Martinkus, E. Saveljev, J. Tekutov, T. Eglynas, M. Jusis.</i> Skaitmeninių sistemų valdymo išmaniaisiais telefonais architektūros tyrimas.....	235
<i>L. Raudonius, O. Vasilecas, A. Šmatžys, A. Rima.</i> Simuliacijos įrankių atrankos kriterijų analizė ir tinkamumo verslo procesų optimizavimui įvertinimas.....	239
<i>K. Rulbys, A. Andziulis, M. Kurmis, Ž. Lukošius, E. Berzinš, G. Gaigals.</i> Radijo teleskopo rt-16 variklių valdymo monitoringo posistemės, skirtos pozicionavimo sistemai, naudojant compactrio 9073 platformą kūrimas.....	245
<i>T. Šarpnickas, V. Bulbenkienė.</i> Manipulatoriaus išmaniosios valdymo sistemos kūrimas ir energetinių kaštų minimizavimas.....	249
<i>A. Vaitekūnas, A. Andziulis, K. Gerasimov, J. Vaupšas.</i> Roboto manipulatoriaus nuotolinio valdymo sistemos programinis prototipas.....	253
<i>D. Vaitiekus, T. Eglynas, R. Lamsargis, J. Vaupšas.</i> Intelektualiosios duomenų perdavimo sistemos taikymas krovimo manipulatoriaus modeliui.....	257
<i>K. Vyčas, V. Šimkus, T. Eglynas, D. Drungilas.</i> Trijų ašių manipulatoriaus modelio trajektorijos parinkimas taikant linijinį programavimą.....	262
<i>E. Abrutytė, A. Žukauskaitė, T. Paulauskienė.</i> Oro užterštumo azoto oksidais tyrimas Klaipėdos mieste pasyviųjų kaupiklių metodu.....	267
<i>V. Burškytė, O. Belous.</i> Klaipėdos jūrų uosto aplinkos apsaugos sistemos analizė.....	274
<i>R. Butkutė, A. Sinicyna, L. Kosychova.</i> Alternatyvaus kuro panaudojimo degaluose tyrimas.....	279
<i>V. Jakubauskaitė, J. Sklerutė, A. Žukauskaitė.</i> Žaliavinės naftos sklaidos dirvožemyje tyrimas.....	284
<i>V. Juciūtė, A. Urbonaitė, A. Skaisgiriienė.</i> Fosforo junginių perėjimo į nuotekas tyrimai aerobinio dumblo stabilizavimo procese.....	290
<i>M. Kontenytė, A. Lapinskienė.</i> Regeneruotos celiuliozės gavimo analizė biodujų gamybai.....	295
<i>V. Kvedaras, R. Gerasimčik, V. Zabukas.</i> Plieno įzotinimas išlydytų druskų terpėje.....	300
<i>V. Linartaitė, A. Skaisgiriienė.</i> Amonifikacijos ir nitrifikacijos tyrimai biodegraduojant pertekliniam dumbliui.....	304
<i>R. Lukauskaitė, A. Marcinkevičiūtė, A. V. Valiulis, O. Černašėjus.</i> Aliuminio lydinių dengimas aukštatemperatūriais lydiniais terminio pūrkimo būdu.....	309
<i>K. Mickuviienė, Ž. Kryževičius, E. Danelkutė, A. Žukauskaitė.</i> Naftos angliavandenilių sedimentaciniai tyrimai jūros vandenyje.....	315
<i>J. Paalksnytė, V. Jakubauskaitė, Ž. Kryževičius.</i> Šilumos perdavimo dirvožemyje tyrimas.....	320
<i>L. Petrauskaitė, O. Belous.</i> Dumblių panaudojimo perspektyva Lietuvoje.....	324
<i>L. Sabutytė, A. M. Lapinskienė, M. Šileika.</i> Mažų nuotekų valymo įrenginių valdymas kontroliuojant skirtingus parametrus.....	328
<i>K. Ubartaitė, A. Žukauskaitė, V. Girdvainis.</i> Nuotekų dumblo energetinio potencialo tyrimas.....	333
<i>J. Uzialo.</i> Meteorologinių sąlygų įtakos transporto priemonės rato sukibimo su danga parametrų analizė.....	338
<i>M. Zubrickaitė, D. Ambrazaitienė.</i> Hidroekosistemų tarša iš antropogeniškai paveiktų dirvožemių.....	343
<i>J. Kinderis, A. Brėškis, D. Kiškienė.</i> Biomasės kurui gaminti išteklių ir biokuro transportavimo kaštų analizė.....	348

## Auonominio plaukiojančio įrenginio valdymo sistemos sukūrimo galimybių analizė

E. Narušis\*, T. Žapnickas\*\*, V. Dyachkov\*\*\*

*Klaipėda University, Bijunu 17, LT-91225, Klaipėda, E-mail: evaldasnar@gmail.com*

*Klaipėda University, Bijunu 17, LT-91225, Klaipėda, E-mail: tomasuas@gmail.com*

*Klaipėda University, Bijunu 17, LT-91225, Klaipėda, E-mail: vasilijd@takas.lt*

### Anotacija

Šiame darbe trumpai apžvelgsime, auonominio judėjimo sistemos sukūrimo galimybes ir technologijas. Sistema yra skirta bepiločiui įrenginiui kurio funkcija – atlikti batimetrines užduotis, ar kitus mokslinius darbus. Sistemos veikimas paremtas GPS ir inercinių daviklių duomenimis, o įrenginys juda sekdamas iš anksto užprogramuotais maršruto taškais.  
*Pagrindiniai žodžiai:* navigacija, bepilotis, maršruto taškai, bepilotis viršvandeninis įrenginys.

### Anotation

The analysis of autonomous motion system design and technology is presented in this paper. The system is designed for Unmanned Surface Vehicle (USV) with purpose to perform bathymetry survey and others scientific tasks. The principles of system are based on GPS and inert sensors real time data; the USV motion is based on preprogramed waypoint navigation.

*Key Words:* waypoint navigation, unmanned, unmanned surface vehicle.

### Įvadas

Sparti technologijų raida per pastarąjį dešimtmetį, daro įtaką ir laivybos pramonėje. Kylant darbo jėgos kainoms, siekiama „įdarbinti“ technologijas, kurios gali padidinti darbo našumą, tikslumą atlikti pavojingus darbus.

Viena iš sričių kurioje, kol kas, karaliauja karinė pramonė, yra bepiločiai įrenginiai (anglų k. – unmanned vehicles). Žmonės išgirdę apie bepiločius įrenginius, šiandien, dažniausiai pagalvoja apie skraidančius UAV (anglų k. unmanned aerial vehicle), povandeninius UUV (anglų k. – unmanned underwater vehicle), arba antžeminius UGV (anglų k. – unmanned ground vehicle) įrenginius. Kol kas dėmesio viršvandeniniams bepiločiams įrenginiams USV (anglų k. – unmanned surface vehicle), stokojama.

Viena iš paprasčiausių užduočių kurioms atlikti būtų galima pasitelkti USV tai yra vandens telkinių tyrimas.

Šiuo metu, mokslinių tyrimų uždaviniai yra pereiti nuo nuotolinio valdymo prie pilnai auonominio ar iš dalies auonominio valdymo sprendžiant įvairias užduotis. Viena iš užduočių gali būti judėjimas iš taško A į tašką B nesusidūrus su kliūtimis, arba sekti kito, motininio, laivo keliu plaukiant tiksliai nenukrypstant nuo kurso.

### USV struktūra:

- Korpusas.
- Pagalbiniai struktūriniai elementai.
- Propulsija.
- Energijos aprūpinimo sistema.
- Įrenginio komunikavimo, užduočių vykdymo ir valdymo sistema į kurią įeina:
  - Sensorių sistema.
  - Variklio valdymo sistema.
  - Gabenamo įrenginio valdymo sistema.
  - Navigacijos, nukreipimo ir valdymo sistemos. (Anglų k. NGC – Navigation, guidance, controll)
- Užduočių valdymo postas.
- Komunikavimo su įrenginiu sistema. [1]

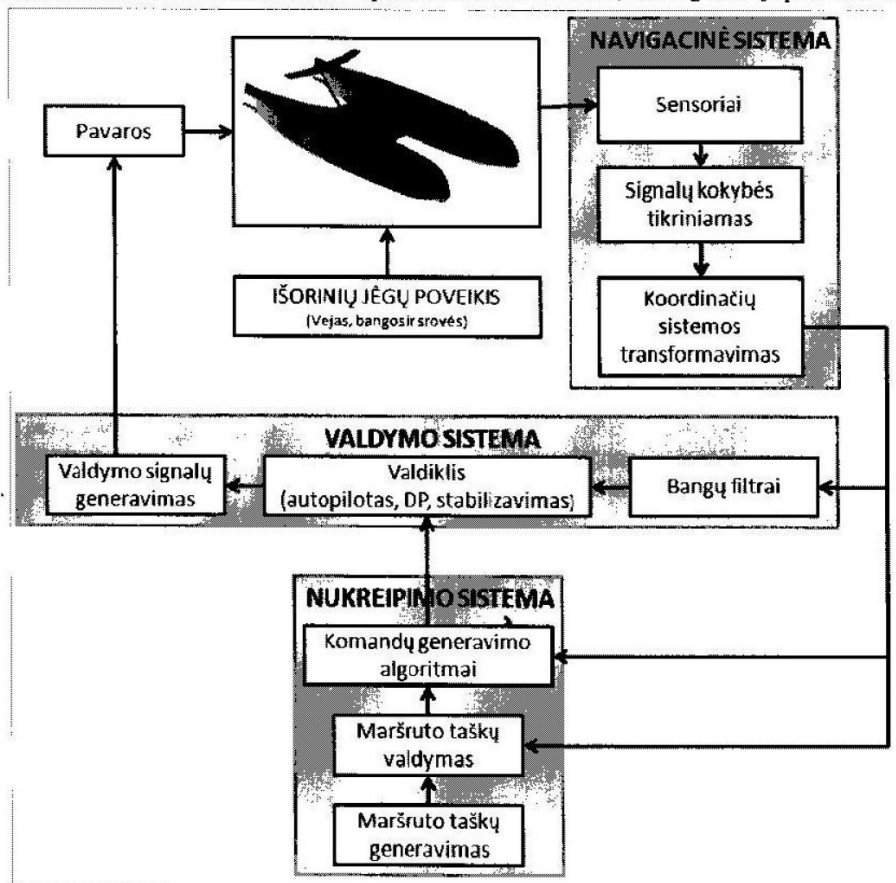
### USV auonominio judėjimo sistema

Įprastoje laivyboje laivo valdymas neapsieina be kompiuterizuotų įterptinių sistemų, taip siekiama padidinti valdymo tikslumą, padaryti valdymą paprastesniu, bei įgyvendinti papildomas funkcijas, tokias kaip: autopilotas.

supimosi slopinimas ir kt. Šios sistemos taip pat sėkmingai gali būti pritaikomos ir autonominiuose viršvandeniniuose laivuose.

Autonominio judėjimo sistemą sudaro trys pagrindinės sistemos (1 Pav.):

- **NAVIGACINĖ sistema.** Jos uždutis yra laivo padėties nustatymas ir duomenų, gautų iš sensorių aptdorojimas. Laivo padėčiai nustatyti naudojami sensoriai yra GPS, radarai, giroskopai, akselerometrai, kompasai, ir kt.
- **Valdymo sistema.** Šioje sistemoje yra atliekamas daviklių duomenų filtravimas, bei generuojami valdymo signalai.
- **Nukreipimo sistema.** Šios sistemos uždutis yra generuoti maršruto taškus, jie gali būti užduodami tiesiogiai vartotojo, arba, atliekant tam tikras užduotis, pvz. kito laivo dubliavimas, taškus generuoja pati sistema.



1 pav. Autonominio judėjimo sistema [6]

#### Autopiloto darbo režimai

- **Rankinis režimas.** Dirbant šiuo režimu, autopilotas yra budėjimo būsenoje, o komandos pavaroms yra duodamos rankiniu būdu.
- **Kursinio kampo režimas.** Dirbant šiuo režimu, laivas juda pastoviu, pasirinktu, kursiniu kampu  $\bar{\alpha}$ , autopiloto uždutis yra koreguoti esamą kursinį kampą. Šiam darbo režimui reikalingi tikslūs giroskopo arba kompasu matavimų duomenys.
- **Kurso režimas.** Dirbant šiuo režimu, laivas juda pastoviu, pasirinktu kursu. Kursinis kampas yra nustatomas iš judėjimo kurso  $\bar{\alpha}$  ir dreifo kampo  $\bar{\beta}$ .
- **Maršruto taškų režimas.** Dirbant šiuo režimu, sistema siekia laivą nuvesti į nustatytą maršruto tašką. Kursiniam kampui nustatyti naudojama esama pozicija ir nustatytas dreifo kampas. Toliau nukreipimo sistema generuoja trajektoriją kuri kompensuoja nukrypimą nuo kelio, tam kad pasiekti pasirinktą nustatytą tašką. Šis režimas skirtas tik vienam maršrutiniam taškui.
- **Kelio režimas.** Dirbant šiuo režimu, laivas seka nustatytu maršrutu, kurį sudaro daugelis maršruto taškų. Nuolatos egzistuoja tik viena linija einanti tarp dviejų maršruto taškų, laivui pasiekus numatytą maršruto tašką, tikslu

tampa kitas nustatytas taškas. Šiam režimui reikalingi kursinio kampo, geografinės padėties ir greičio duomenys. Taip pat reikalinga įranga administruoti maršruto taškams [3].

#### Sensorių informacijos apdorojimas

Žemės paviršiuje naudojama maršruto taškų (Anglų k. - Waypoint) navigacija, kad efektyviai atlikti savo funkciją, paprastai reikalauja didelio tikslumo esamos pozicijos informacijos. Dažniausiai sistemos tam tikslui pasiekti naudoja diferencialinį GPS ir aukštos kokybės, brangias inercines navigacijos sistemas. Norint padaryti maršruto taškų navigaciją prieinamą paprastoms techninėms platformoms ir įrenginiams, buvo sukurta mažagabaritė, nebrangi maršruto taško navigacijos sistema. Sistema naudoja nebrangių sensorių ir Kalmano filtro kombinaciją siekiant sumažinti skirtumą tarp GPS ir giroskopų duomenų. Algoritmai veikia pigiame įterptiniame procesoriuje.

Pagrindinis projekto tikslas buvo sukurti patikimą maršruto taškų navigacinę sistemą skirtą mažagabaričiams įrenginiams kurie neturi galimybės panaudoti diferencialinį GPS.

Nepakoreguotame GPS signale įvairiais laiko periodais atsiranda neatitikimų kurie atsiranda dėl skirtingų priežasčių. Šioje apžvalgoje jie išskiriami kaip 1) didelio dažnio triukšmas, 2) ilgalaikis pasislinkimas. Pirmojo kategorija tai netikslios duomenų reikšmės kurios pavaizduotos dviejų ašių koordinačių sistemoje matosi kaip laužtinė nesklandi trajektorija. Patirtis rodo jog šio triukšmo priežastys yra jog GPS imtuvas kartais patenka į palydovų nematomą zoną, taip pat ir atsispindėjęs palydovo signalas gali dubliuotis ir taip paveikti GPS imtuvo tikslumą. Šios paklaidos gali varijuoti nuo keliolikos centimetrų iki dešimčių metrų.

Kita GPS klaidų kategorija yra ilgalaikis pasislinkimas. Šias klaidas pastebėti yra žymiai sudėtingiau, kadangi jos daro ilgalaikę įtaką koordinačių plokštumoje, kitaip nei triukšmas, ši klaida yra nepastebima. Šių klaidų kilmę nustatyti sudėtinga tačiau didžiausią įtaką jų atsiradimui daro jonosferos ir troposferos poveikis radijo signalui. Šios klaidos varijuoja nuo visai nepastebimo iki dešimties ir daugiau metrų.

Kuriant patikimą maršruto taškų navigaciją, įrenginys turi pakankamai tiksliai žinoti savo buvimo vietą, naudojant tikrai nediferencialinį GPS to pasiekti negalima.

GPS triukšmui ir klaidoms mažinti, siūloma apjungti GPS imtuvą su kitais sensoriais, ir šių sensorių duomenis apdoroti panaudojant Kalmano filtrą. Apjungus inercinius sensorius su GPS imtuvu galima labai padidinti pozicionavimo tikslumą. Inerciniai sensoriai yra labai mažo triukšmingumo, tačiau galimas begalinis duomenų pasislinkimas, tačiau GPS atvirkščiai, triukšmingumas pakankamai didelis, o pasislinkimas gana mažas [4].

#### Išvados

1. Autonominio judėjimo sistema, pritaikyta įrenginiui skirtam batimetriniams darbams, ar kitiems moksliniams tikslams, padėtų sumažinti tyrimų išlaidas, bei padidintų tyrimų apimtį.
2. Ši sistema, ateityje galėtų būti pilnai autonominė, ir sprestų prasilenkimo su kliūtimis uždavinius, aprūpinus įrenginį pakankamu energijos kiekiu, sistema galėtų dirbti be žmogaus įsikišimo, o surinktus duomenis siųstų į mokslininko kompiuterį.

#### Literatūros sąrašas

1. Roberts, G. N. et. al., 2006. Advances in Unmanned Marine Vehicles. Herts, United Kingdom: The Institution of Engineering and Technology.
2. Breivik, M., et. al., 2008 Straight-Line Target Tracking for Unmanned Surface Vehicles. Modeling, Identification and Control, 29, 4, p.131-149.
3. Fossen, T. I. 1998. Guidance and Control of Ocean Vehicles. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
4. Burch, M. H., 2002. Accurate waypoint navigation using non-differential GPS. Center. San Diego, USA: Space and Naval Warfare Systems.
5. Rekdalsbakken, W., Styve, A. 2008. Simulation of intelligent Ship Autopilots. Aalesund, Norway: Institute of Technology and Nautical Science.
6. Perez, T., 2005. Ship motion control : course keeping and roll stabilisation using rudder and fins. London: Springer.

ISSN 1822–296X

**KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
IFTOMM NATIONAL COMMITTEE OF LITHUANIA  
SAE LITHUANIAN BRANCH  
THE DIVISION OF TECHNICAL SCIENCES  
OF LITHUANIAN ACADEMY OF SCIENCES  
KLAIPĖDA UNIVERSITY  
VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY**

## **TRANSPORT MEANS 2011**

PROCEEDINGS OF THE 15<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE

October 20 – 21, 2011  
Kaunas University of Technology, Lithuania



4 priedas (tęsinys)

## Contents

Preface	4
J. Furch, Prognostics and Health Management in Military	5
Ł.J. Orman, R. Chatys, Heat Transfer Augmentation Possibility for Vehicle Heat Exchangers	9
S. Šinkūnas, A. Kiela, A. Adomavičius, Shear Stress Variation in Liquid Film Flow inside a Vertical Tube	13
J.Lazauskas, A.Kazlauskienė, A. Aranskis, The Research of Transport Companies Performance Measurement System	17
J. Stodola, P. Stodola, Life-Time Weight Growth Impact on Military Vehicle Performance and Dependability	22
J. Glos , Modern Methods of Tribological Diagnostics	26
Š. Čorňák, Assessment of Diesel Fuel Quality	30
J.Čerka, Marine Powering Prediction	34
B. Leitner, The Software Tool for Mechanical Structures Dynamic Systems Identification	38
B. Leitner, The Least Squares Method in a Parametric Identification of the Large Crane System	42
D. Vidriková, Z. Dvořák, V. Kaplan, The Current State of Protection of Critical Infrastructure Elements of Road Transport in the Conditions of the Slovak Republic	46
E. Sventeková, Z. Dvořák, Human Activity as a Risk in Railway Transport	50
Z. Vintr, M. Vintr, Preventive Maintenance Optimization of Pantographs of Railway Vehicles	54
V. Kaplan, M. Lojda, On Determination of the Loading Capacity on the Šílený Truss Bridge in Kojetín	58
A. Andziulis, G. Gaigals, T. Lenkauskas, E. Visakavičius, S. Jakovlev, T. Eglynas, V. Beniušis, Comparison of Two Image Processing Techniques for Objects Detection on the Sea Floor	62
I.Lešinskis, A.Pavlovičs, The Aspects of Implementation of Unmanned Aerial Vehicles for Ice Situation Awareness In Maritime Traffic	65
E. Speičytė, Impact of Public Logistic Centre Establishment on Freight Transport External Costs	69
T. Vintr, Approaches to Maintainability Allocation of Military Combat Vehicles	73
E.Dambergs, J.Erbs, R.Jankevics, A.Strautins, P.Jefimenko, I.Rozenstrauha, J.Cimanskis, J.Zarins, The Freeport of Riga inventory of air emissions from ocean going vessels	77
L. Turkina, I. Panasiuk, Optimization of Production of Ship Hull Parts	81
P. Janu, J. Bajer, Communication Verification of On-board Aircraft Electronic System	84
I.Stelpa, Development Prospects of Northern Saa Route	88
D. Andrejeva, The Risk of Human Error Reduction by Implementing the Automatic Collision Avoidance System	92
L. Vindergauz, Baf in Short Sea Roro Shipping - Significance and Application; Dfids Seaways Case Study	96

T. Túró, Issues of Telemetry Information in Vehicle Network	189
K. Carjova, V. Zavtkevičs, Design Features of Unmanned Underwater Vehicle (UUV)	193
G. Rijkuris, Methods of Ship's Structures and Equipment Corrosion Protection Analysis	197
A. Urbahs, V. Petrovs, A. Jakovlevs, V. Bulanovs, Specificity of Constructions and Perspective of Use and Operations in Transport Systems UAS Micro Class	202
V. Dyachkov, T. Žapnickas, E. Narušis, Conceptual Design of Unmanned Bathymetry Survey Vehicle	207
G. Bureika, J. Lazauskas, V. Valiūnas, Comparative Analysis of Implementation of Tramway and Metropolitan Lines in Vilnius City	211
V. Naginevičius, D. Andriukaitis, V. Speičys, J. Avotins, S. Bagdzevičienė, Vibration Controlled Hydraulic Booster	215
S. Jakovlev, A. Andziulis, T. Lenkauskas, Research of Intelligent Transport System Application Possibilities in Intermodal Containers Transportation Area	219
V. Ryapuhin, N. Nechytaylo, The Model of Asphalt Concrete as a Thermoplastic Material	222
A. Urbahs, K. Savkovs, I. Kurjanovičs, V. Zujevs, Heat Resistant Coatings for Titan Alloy-based Parts of a Gas Turbine Engine	225
V. Dzerkelis, J. Sapragonas, Defining of Vehicle Rollover Parameters	229
A. Petraška, R. Palšaitis, N. Batarlienė, D. Bazaras, Evaluation Criteria System of the Routes for Super Heavy and Oversized Cargo	236
A. Mor-Yaroslavtsev, A. Levchenkov, Railway Electric Vehicle Diagnostics with an Algorithm for Self-nonsel Self Discrimination in Artificial Immune Systems	240
N. Pavlenko, V. Ryapuhin, The Influence of Grain Size of the Discrete Material on the Stress and Strain State of a Layered System	246
Ye. Ugnenko, Ye. Voronova, O. Tymchenko, Definition of Soil Slides Displacement Speed on Highways in Mountain Areas	250
V. Ryapuhin, E. Dorozhko, Limit States and Strength Criteria of Thin Asphaltic Concrete Layers on Rigid Base	254
A. Fedaravičius, S. Kilikevičius, A. Survila, P. Šaulys, Estimation and Research of the Rocket Aero Dynamical Characteristics Using Numerical Methods	258
J. Zaglinskis, S. Lebedevas, Winter False Flax and RME Biofuels Comparative Research on Diesel Engine Operating Conditions	262
V. Paulauskas, B. Placiene, V. Lukauskas, A. Paulauskiene, R. Barzdziukas, D. Paulauskas, A. Kaulitzky, Crossing of Water Barriers in Oversize Cargo Transportation	266
A. Urbach, M. Banov, Y. Harbuz, Y. Feshchuk, Y. Sologubov, Evaluations of Degree of Damage and Probability of Forecasting of Destructing Load in Anisotropic Composites by Means of Acoustic Emission in Materials under Static Loading	270
K. Savkov, S. Doroshko, M. Urbaha, Gas Turbine Aero Engine Compressor Blade Erosion and Heat Resistant Coatings	274

A. Ignatenko, V. Martynov, Calculation of Continuous Section Bridge Hold with Steel Iron Ring	279
V. Jonevičius, A. Pincevičius, D. Montvydas, Investigation of Carrier HMMWV M1151 Dynamics	282
A. Mor-Yaroslavtsev, A. Levchenkov, Intelligent Embedded Rolling Stock Safety Devices Using an Immune Clonal Selection Algorithm	287
S. Backaitis, Electric Vehicles on a Bumpy and Obstacles Filled Path	291

Proceedings of 15<sup>th</sup> International Conference Transport Means  
ISSN 1822–296X

Maketavo: Rolandas Makaras, Robertas Keršys

---

SL 344. 2011-10-17. 38,25 leidyb. apsk. I. Tiražas 70 egz. Užsakymas 716. Kaina sutartinė.  
Leidykla „Technologija“, K. Donelaičio g. 73, 44029 Kaunas  
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424, Kaunas

## Conceptual Design of Unmanned Bathymetry Survey Vehicle

V. Dyachkov\*, T. Žapnickas\*\*, E. Narušis\*\*\*

\*Klaipeda University, Bijunu 17, LT-91225, Klaipeda, E-mail: [vasilijd@takas.lt](mailto:vasilijd@takas.lt)

\*\*Klaipeda University, Bijunu 17, LT-91225, Klaipeda, E-mail: [tomasuas@gmail.com](mailto:tomasuas@gmail.com)

\*\*\*Klaipeda University, Bijunu 17, LT-91225, Klaipeda, E-mail: [evaldasnar@gmail.com](mailto:evaldasnar@gmail.com)

### Abstract

The analysis of steps of conceptual design of an autonomous (unmanned) self propelled floating vehicle capable to measure and collect bathymetric data according to IHO (International Hydrographic Organization) standards or taking other measurements in ports, inland waters and open sea is presented in this paper.

**KEY WORDS:** *conceptual design, ship design, unmanned, self-propelled, floating vehicle, bathymetric.*

### 1. Introduction

The unmanned bathymetry survey vehicle (UBASUV) will operate in preprogrammed way, i.e. human operator will prepare working area (survey field) data, the data will be loaded to the vehicle and then the vehicle will be activated and lowered to the water. The vehicle will proceed to the survey field and will start operation. When operation is finished, the vehicle will automatically return to start point or preprogrammed point. Collected data will be extracted from the vehicle and used for any hydrographic purpose.

### 2. Main design steps

The main steps of conceptual design of Unmanned Bathymetry Survey Vehicle to be as follows:

- Development of suitable Hull-propulsion system.
- Development of vehicle stabilisation system.
- Development of vehicle maneuvering and steering control system [1].
- Development of powering system using batteries and solar panels.
- Development of intelligent navigation system [2, 3, 4, 5].
- Development of Bathymetric data measuring and collecting system [6, 7].

Let us shortly analyze each of design steps:

**Hull-propulsion system** should be design in accordance with the working area of the vehicle. When working in sea - the main goal of the hull-propulsion system is to ensure acceptable for measuring device stable work conditions in waves. When working in shallow waters - lagoon the goal of the hull-propulsion system is to ensure also smaller draft for accessing small depth areas.

Displacement type of hull form (Fig. 1) is mostly fit for lagoons and rivers, where the impact of wind and waves is not so strong, comparing to open seas. The draft, is every time a critical point in shallow waters, therefore displacement hulls with flat bottom and higher block coefficient are more preferable for such operation conditions.



Fig. 1. Displacement type of hull form

4 priedas (tęsinys)

However for open sea working area it could be better to make swath or semi-swath hull (Fig. 2) form because of the same reasons. Such hull form has less influence from waves and relatively good sea keeping, e.g. pitch and heave characteristics in comparing to displacement hulls. It will be also less influenced by the wind, as the most of hull area will be underwater. It will have bigger draft in comparing to the displacement hulls, what is also an advantage in open sea conditions [8, 9].

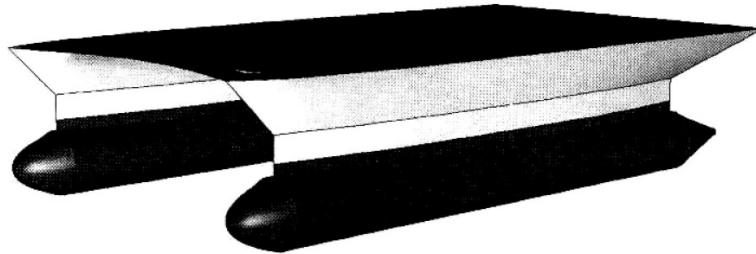


Fig. 2. Swath type of hull form

The choice of the suitable propulsion system will be heavily influenced by the choice of the hull form. Operation conditions, such as shallow waters or open sea area should be also evaluated. Unexpected failures and system doubling should be foreseen in order not to lose completely propulsion capabilities of the vehicle.

**Stabilisation system** in addition to Hull-propulsion system meant for seas will allow reducing impact of waves and ensuring stable and accurate working of the measuring devices. Irrespective of hull type and form wings can be used to stabilize the vehicle. They can be put in fore and in aft of the vehicle between the hulls [10, 11].

**Maneuvering and steering control system** would allow the vehicle to have good maneuvering characteristics, ensuring exact pre-programmed path following with evaluation and course correction depending on around conditions (wind, currents, etc.) [12]. Steering system is also to be foreseen capable to quick adjustment of the vehicle's position. However it will also depend on the operation area and conditions. For hydrographic purposes the vehicle should follow preprogrammed track with high accuracy. The control of the position of the vehicle will be done via GPS gyro system. This way the course should be split in a number of points with the same distance. The program should be written for continuous check up of the position of the vehicle and signal to be given to steering system for position adjustment. By the possibility bowthusters to be foreseen for the course adjustment purposes. The simplified algorithm of such program is shown in Fig. 3.

**Powering system** should ensure continuous working of the vehicle during its planned autonomy. Electrical power resources supplied by solar panels are not sufficient for all vehicle power demands – the main power source will be obtained from batteries charged on shore. Using battery cells significantly increases vehicle displacement, and quantity of battery cells directly depends of endurance of the vehicle. To have the vehicle easy transportable, the weight should be reduced as much as possible. For reducing of displacement various solutions will be foreseen: optimizing vehicle endurance time; reducing power for propulsors by resistance minimizing in hull design phase; use of ultra light composites for hull constructions and etc. Powered by batteries and equipped with solar panels will make vehicle Eco Friendly.

**Intelligent navigation system** to be installed, which will allow tracking vessels in range and taking measures to avoid collision. The vehicle will be equipped with vehicle-shore communicated system for its position and condition monitoring. This system will allow taking over control by human operator when approaching the shore or in emergency situations [12, 13, 14]. The vehicle should be equipped with necessary radio navigation devices for monitoring of vessels around. AIS is intended to be used for other vehicles position tracking and necessary actions to be taken in preprogrammed way to exclude collision possibility. It is vital in shallow waters (e.g. lagoons and rivers) operations. The program should be written for the vehicle to take action in case of other vessels crossing its course (in case of risk of collision). Also it will be able to detect and avoid unexpected targets. Visual means of monitoring to be foreseen for this purpose. Laser and video devices detection possibilities to be used for non-AIS objects detection. Save distance depending on own and object's speed to be determined and necessary actions to be taken to avoid possible collision. All around camera views with integrated object detection and possible data saving on internal hard disk can be foreseen. Such system will also give better control possibilities to the control desk in case of emergencies.

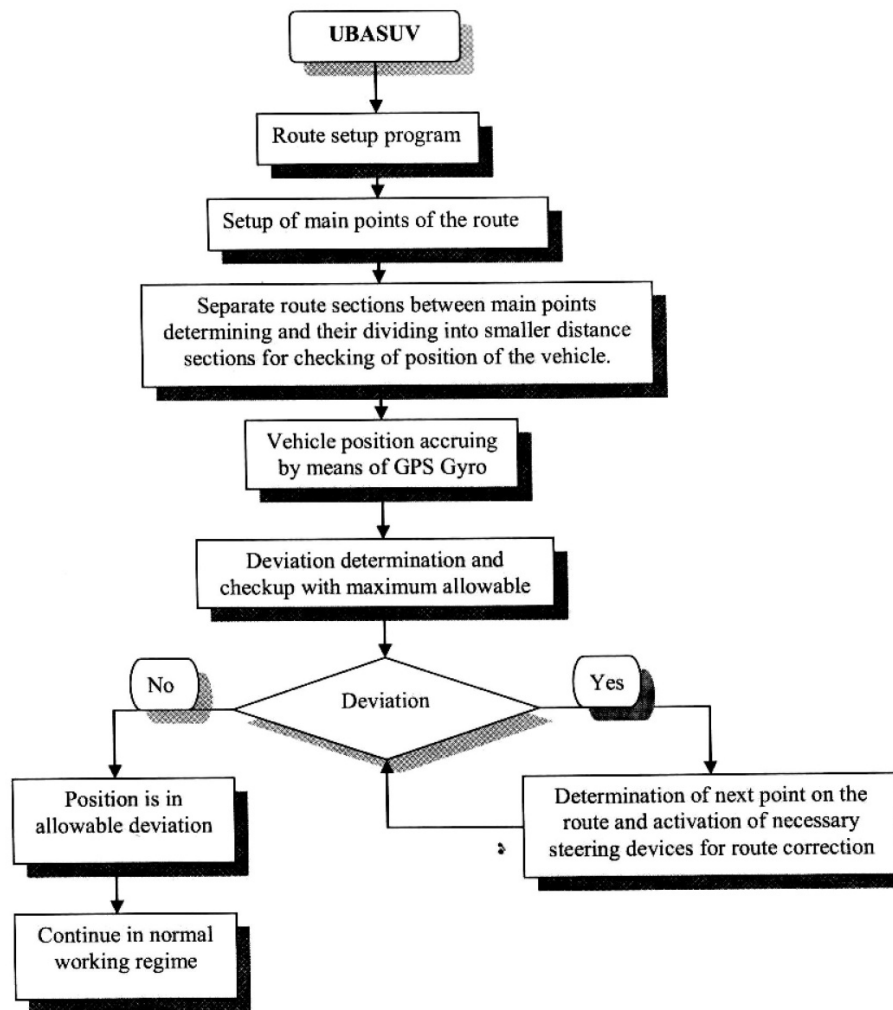


Fig. 3. Route setup and course adjustment algorithm.

**Bathymetric data measuring and collecting system** to be installed, adapting latest multi beam echo sounders (MBES) technologies or other sensors, depending on nature of research [6, 7].

Maintaining speed is very important for proper working and receiving accurate results from measuring device. It is heavily possible to track measuring results in real time regime, therefore measured data should be written to a hard drive arranged inside the vehicle and can be taken for further working after the finishing of work program of the vehicle.

However the periodical receives of data samples to be foreseen for quality control of measured data and monitoring of vehicle conditions (battery levels, vehicle position and etc).

The working area and course what vehicle should follow should be preprogrammed before its operation. Than, vehicle can work independently, implementing the given tasks. However, control desk for adjusting or emergency control takeover should be foreseen. If there is good connection between control desk and the vehicle – course can be adjusted by necessity. Distant control or emergency control take over can be made either from shore or from the vessel, when vehicle is making operation in sea.

### 3. Conclusions

The all above described items are the guidelines for development of Unmanned bathymetric survey vehicle which will be created for hydrographic personnel use, for bathymetric data measuring and collecting according to IHO regulations. Collected data will be used for navigational chart creating and updating, monitoring of dredging operations, scientific and academic purposes.

Usually hydrographic data collection performs with use of boat and crew what increases budget of procedure. Use of the vehicle will replace survey boats and will act in friendly way for environment.

The vehicle can be used for increasing efficiency of bathymetric survey operations prosecuted by hydrographic vessel or boat – the vehicle can be loaded on board of the boat and lowered in survey field and activated for data measuring and collecting. By this way survey operation can be reduced twice or more times (according of quantity of used vehicles) or duplicated for data reliability control.

#### References

1. **Øivind Kåre Kjerstad**. "Dynamic Positioning Concepts for Unmanned Surface Vehicles", Norwegian University of Science and Technology Department of Engineering Cybernetics, December 2009.
2. **Y. Girdhar, G. Dudek**. "ONSUM: A system for generating online navigation summaries," in Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS '10), 2010.
3. **M. R. Benjamin, J. A. Curcio, P. M. Newman**. "Navigation of unmanned marine vehicles in accordance with the rules of the road," in Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA '06), 2006.
4. **J. Larson, M. Bruch, R. Halterman, J. Rogers, R. Webster**. "Advances in autonomous obstacle avoidance for unmanned surface vehicles". AUVSI Unmanned Systems North America, 2007.
5. **J. Larson, M. Bruch, J. Ebken**. "Autonomous navigation and obstacle avoidance for unmanned surface vehicles," Proceedings of SPIE, 2006.
6. **International Hydrographic Organization**. "IHO Standards for Hydrographic Surveys", International Hydrographic Bureau, MONACO, 5th Edition, Special Publication No. 44, February 2008.
7. **P. Tokekar, D. Bhaduria, A. Studenski, V. Isler**. "A robotic system for monitoring carp in Minnesota lakes," Journal of Field Robotics, vol. 27, no. 6, pp. 779–789, 2010.
8. **Dubrovskiy V. A.** Attractive potential of multi-hulls // The Naval Architect. London, The United Kingdom, 1997, Nr. 9, p. 18–19.
9. **Papanikolaou A., Kaklis P., Koskinas C., Spanos D.** Hydrodynamic Optimization of Fast-Displacement Catamarans // Proceedings of Twenty-First Symposium on Naval Hydrodynamics, 1997, p. 697–714.
10. **Sokolov V. P., Sutulo S. V.** Study of Seakeeping of a Fast Displacement Catamaran Equipped With Above-Water Bow Antipitching Fins // Transactions CRF'96 Conference. St-Peterburg: State Marine Technical University, 1996, Vol. 2, p. 487–514.
11. **Cholodilin A. N., Shmyrev A. N.** Seakeeping and stabilization of vessels in waves (in Russian). Leningrad: Sudostrojenije, 1976, 328 p.
12. **Bruch, M.H., Gilbreath, G.A., Muelhauser, J.W., J.Q. Lum**, "Accurate Waypoint Navigation Using Non-differential GPS," AUVSI Unmanned Systems 2002, Lake Buena Vista, FL, July 9-11, 2002.
13. **L. Doitsidis, A. L. Nelson, K. P. Valavanis, M. T. Long, R. R. Murphy**. "Experimental Validation of a MATLAB Based Control, Architecture for Multiple Robot Outdoor Navigation", Mediterranean Conference on Control and Automation, Cyprus, June 2005.
14. **C. Almeida, T. Franco, H. Ferreira, A. Martins, R. Santos, J. Almeida, J. Carvalho, E. Silva**. "Radar based collision detection developments on USV ROAZ II," May 2009.