

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūrų technikos fakultetas

Mechanikos inžinerijos katedra

Tomas Lenkauskas

**JŪROS DUGNO TYRIMAS SONARU IR METODŲ
TOBULINIMAS**

Technologijų valdymo studijų programos magistro baigiamasis darbas

KLAIPĖDA, 2012

ANOTACIJA

Uosto akvatorijos ir jūros kelių dugno tyrimai yra labai svarbūs nuolat modernizuojamame ir besiplečiančiame Klaipėdos uoste (BPATPI duomenų fondai). Dugno tyrimai šoninės apžvalgos sonaru taip pat naudingi archeologams, sonaro pagalba randami nuskendę laivai bei didesni iš laivų iškritę objektai. Šoninės apžvalgos sonarais išgautų vaizdų kokybei labai didelę įtaką daro sonaro tempimo tolygumas. Net nedideli mechaninių judesių sukeliama trikdžiai gali labai stipriai paveikti sonaru išgaunamų vaizdų kokybę. Šiai problemai pašalinti sukurti metodai, aprašantys mechatroninius ir programinius sprendimus taikančias sistemas. Sukurta laivo ir sonaro judesių matavimo sistema. Pagamintas sistemos prototipas, naudojantis jutiklius ir elektros variklį. Naudojant sistemą sėkmingai atlikti laivosvyravimų eksperimentiniai matavimai ir ištestuotas sistemos prototipas. Kita darbe sprendžiama problema, tiriant sonaru išgautus vaizdus susiduriama su dominančių objektų atpažinimo sonaro ultragarsinio skenavimo medžiagoje. Kuri gali būti efektyviai sprendžiama informacinių sistemų pagalba. Apdorojant gautus vaizdus moderniomis programinėmis priemonėmis (pvz. *MatLab*) būtų sutaupoma daug laiko, bei padidinamas darbo našumas. Išvada – sukurti 3 metodai, skirti šoninės apžvalgos sonaru išgaunamų vaizdų kokybei gerinti ir 2 algoritmai efektyviai pagreitinantys objektų paiešką.

PAGRINDINIAI ŽODŽIAI: uosto dugno tyrimai, sonaras, vaizdų apdorojimas, mechatronika.

ABSTRACT

Examination of the seabed in the waterfront of the port and under the major sea-lanes is very important in the ever expanding port of Klaipeda (CORPI Funds data). Observations of the seabed with sonar equipment are useful for archaeologists too in looking for sank ships and larger objects lost from ships. Images quality obtained using side scan sonars are strongly influenced by the sonar tow consistency. Even small sonar disturbances caused by mechanical disturbances can greatly affect the extracted sonar images quality. To eliminate this problem, methods describing the mechatronic and software-intensive solutions were developed. It was designed motion measurement system for the ship sonar and sonar. Produced prototype of system that uses sensors and an electric motor. System successfully made the experimental measurements and tested the prototype system. Also recovered from the investigation of sonar images of objects of interest face ultrasonic scanning sonar detection problem is the material that can be effectively dealt with the information systems support. Expeditions harvest many images. Processing of images obtained with modern software tools (eg MatLab) can save time and increase productivity. Conclusion - to create three methods for side scan sonar surveys to improve the quality of the extracted images and the two algorithms to effectively speed up the search of objects.

KEY WORDS: the harbor bottom surveys, sonar, image processing, mechatronics.

TURINYS

Įvadas.....	8
1. Literatūros apžvalga.....	9
1.1. Sonarų tipai ir panaudojimo sritys	9
1.1.1 Sonaro veikimo principas.....	9
1.1.2 Sonarų tipai	10
1.1.3 Dugno profilio skenavimo sonarų sistemos	12
1.2. Sonaro sistemos stabilizavimas	13
1.3. Laivo stabilizavimas masyviais giroskopais	18
1.4. Vaizdų apdorojimas	21
1.5. Laivo manevravimo technikos įtaka sonaro stabilumui	24
1.6. Mechaninė laivo judesio kompensavimo sistema.....	28
1.6.1 Sonaro trikdžių tipai	32
1.7. Skyriaus išvados	35
2. Matematinis modelis.....	37
2.1. Jūros bangavimo ir laivo svyravimų apskaičiavimas.....	40
2.2. Variklio parametrų parinkimas bangavimo kompensavimo sistemai.....	43
3. Sonarų tyrimo metodologija	46
3.1. Nacionalinių tyrimų rezultatų teritoriniuose vandenyse apžvalga ir problematika	46
3.1.1 Matavimų sistemos kūrimas.....	48
3.2. Bangavimo kompensavimo metodai.....	52
4. Matavimų sistemos verifikavimas ir rezultatų aptarimas	54
4.1. Jūriniai tyrimai	54
4.2. Nuskaitomų duomenų pritaikymas sistemai	54
4.3. Matavimų rezultatai	54
4.4. Virtualus sonaro stabilizavimas skaičiavimuose	59
5. Šoninės apžvalgos sonarais išgaunamų vaizdų kokybės gerinimo sistemų prototipai	62
5.1. Prototipų modeliai.....	62
5.2. Sonaro panardinimo gylio stabilizavimas	62
5.3. Bangų kompensavimo sistema.....	64
5.3.1 Sistemos prototipas	66
5.4. Automatinis objektų aptikimas sonaru nuskaitytuose vaizduose.....	68
5.4.1 Pagrindiniai metodų skirtumai	72
5.5. Skyriaus išvados	73
6. Išvados	75
Literatūros sąrašas	76
Priedai.....	79

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 LENTELĖ. VIRTUALIŲ SISTEMOS MODELIŲ BENDRIEJI PARAMETRAI	14
2 LENTELĖ. PAGRINDINIAI LAIVO PARAMETRAI	28
3 LENTELĖ. JŪROS BANGAVIMO SKALĖ.....	40
4 LENTELĖ. REIKALAVIMAI SONARO SISTEMAI (BPATPI DUOMENŲ FONDAI).....	46
<u>5 LENTELĖ. SONARO EDGETECH 4100 PAGRINDINIAI PARAMETRAI (INTERAKTYVUSI</u> <u><WWW.EDGETECH.COM>)</u>	47
6 LENTELĖ. PAGRINDINIAI <i>ARDUINO DUEMILANOVE</i> PARAMETRAI	50
7 LENTELĖ. PAGRINDINIAI AKSELEROMETRO PARAMETRAI.....	51
8 LENTELĖ. PAGRINDINIAI GIROSKOPO PARAMETRAI.....	51
9 LENTELĖ. SONARŲ PARAMETRAI (BPATPI DUOMENŲ FONDAI).....	53
10 LENTELĖ. EKSPERIMENTŲ METU NAUDOTO LAIVO DYDIS.....	54
11 LENTELĖ. DUOMENŲ SENSORINIŲ TINKLŲ STEBĖJIMO PROGRAMOS.....	60
12 LENTELĖ. NUMATOMI EKSPERIMENTINIAI PLAUKIMAI.....	64
13 LENTELĖ. EKSPERIMENTŲ METU MATUOJAMI PARAMETRAI	64
14 LENTELĖ. SISTEMAI PARINKTO VARIKLIO PAGRINDINIAI PARAMETRAI.....	68
15 LENTELĖ. METODŲ ALGORITMAI PROGRAMAI <i>MATLAB</i>	72
16 LENTELĖ. DUOMENŲ APDOROJIMO GREIČIAI	73

ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

1 PAV. SONARO VEIKIMO PRINCIPAS (HTTP://WWW.AMLOCEANOGRAPHIC.COM)	9
2 PAV. OBJEKTO APTIKIMAS (WWW.MARUM.DE)	10
3 PAV. VAIZDŲ PERSIDENGIMAS NAUDOJANT DU SONARUS (TRUCCO A., ET, AL., 2009)	10
4 PAV. SPINDULINIO SONARO VEIKIMAS (WWW.MARUM.DE)	11
5 PAV. ŠONINĖS LOKACIJOS SONARO VEIKIMAS (WWW.DIVETHEWORLD.COM)	12
6 PAV. DUGNO PROFILIO SKENAVIMO SONARO SISTEMA (WWW.GEOPHYSIX.NO).....	13
7 PAV. SUKURTA SONARO KONSTRUKCIJA SU PAPILDOMU SVORIU SONARO GYLIUI STABILIZUOTI (F. C. TEIXEIRA ET AL., 2010)	14
8 PAV. SISTEMOJE NAUDOJAMO SONARO BRĖŽINYS (F. C. TEIXEIRA ET AL., 2010)	14
9 PAV. BANGAVIMO KRYPTYS LAIVO ATŽVILGIU (F. C. TEIXEIRA ET AL., 2010).....	15
10 PAV. SIMULIACIJŲ REZULTATAI, KUR U – SONARO TEMPIMO GREITIS, V – SONARO SVYRAVIMŲ CENTRINE AŠIMI GREITIS, W – SONARO JUDĖJIMAS AUKŠTYN–ŽEMYN (Y–AŠIMI) (F. C. TEIXEIRA ET AL., 2010).....	17
11 PAV. SONARO SVYRAVIMAI NAUDOJANT 100 M KABELĮ (A) IR 30 M KABELĮ (B) (F. C. TEIXEIRA ET AL., 2010).....	17
12 PAV. GIROSKOPINĖS STABILIZAVIMO SISTEMOS BENDRASIS VAIZDAS (N. C. TOWNSEND ET AL., 2007).....	18
13 PAV. LAIVO STABILUMAS KONTROLIUOJAMO BANGAVIMO APLINKOJE (N. C. TOWNSEND ET AL., 2007).....	19
14 PAV. SISTEMOS SU GIROSKOPINIAIS STABILIZATORIAIS SVYRAVIMAI (N. C. TOWNSEND ET AL., 2007).....	20
15 PAV. REALAUS DYDŽIO LAIVO ŠVYTAVIMO SUMAŽINIMAS	21
16 PAV. „AKLOSIOS“ ZONOS PANAIKINIMAS ŠONINĖS APŽVALGOS SONARU IŠGAUTAME VAIZDE (YET–CHUNG CHANGET ET AL., 2010).....	22
17 PAV. SONARO SKLEIDŽIAMŲ SIGNALŲ INTENSYVUMAS ĮVAIRIOMIS KRYPTIMIS (YET–CHUNG CHANGET ET AL., 2010).....	22
18 PAV. VAIZDO RYŠKUMO OPTIMIZAVIMAS (YET–CHUNG CHANGET ET AL., 2010).....	23
19 PAV. SONARO SKLEIDŽIAMŲ SIGNALŲ INTENSYVUMAI (YET–CHUNG CHANGET ET AL., 2010)	23
20 PAV. SONARO SIGNALŲ INTENSYVUMO OPTIMIZACIJA (YET–CHUNG CHANGET ET AL., 2010)	24
21 PAV. VAIZDAS SU NEUŽPILDYTAIS TARP AIS (YET–CHUNG CHANGET ET AL., 2010)	24
22 PAV. VAIZDAS SU UŽPILDYTAIS TARP AIS (YET–CHUNG CHANGET ET AL., 2010).....	24
23 PAV. SISTEMOS MODELIO VAIZDAS (B. BUCKHAM ET AL., 2003)	25
24 PAV. U FORMOS APSISUKIMO VAIZDAS IŠ VIRŠAUS (C. LAMBERT ET AL., 2003)	26
25 PAV. LAIVO GREIČIO POKYTIS ATLIEKANT U FORMOS APSISUKIMĄ (C. LAMBERT ET AL., 2003)....	26
26 PAV. SONARO GYLIO POKYTIS ATLIEKANT U FORMOS APSISUKIMĄ (C. LAMBERT ET AL., 2003) ...	26
27 PAV. SONARO GREIČIO POKYTIS ATLIEKANT U FORMOS APSISUKIMĄ (C. LAMBERT ET AL., 2003) 26	26
28 PAV. LAIVO APSISUKIMO DINAMIKA ATLIEKANT U FORMOS APSISUKIMĄ (C. LAMBERT ET AL., 2003).....	27
29 PAV. SONARO APSISUKIMO DINAMIKA ATLIEKANT U FORMOS APSISUKIMĄ (C. LAMBERT ET AL., 2003).....	27
30 PAV. SONARO ŠVYTAVIMAI ATLIEKANT U FORMOS APSISUKIMĄ (C. LAMBERT ET AL., 2003)	27
31 PAV. BALIONO FORMOS IDEALIAUS APSISUKIMO SPINDULIO SCHEMA (C. LAMBERT ET AL., 2003) 27	27
32 PAV. SUPAPRASTINTOS BALIONO FORMOS APSISUKIMAS (C. LAMBERT ET AL., 2003).....	27
33 PAV. SUPAPRASTINTOS BALIONO FORMOS (C. LAMBERT ET AL., 2003) APSISUKIMAS	27
34 PAV. SISTEMOS BENDRASIS VAIZDAS (SAWODNY O. ET AL., 2010)	28
35 PAV. Į LAIVĄ ATSIMUŠUSIŲ BANGŲ STATISTIKA (KUCHLER S. ET AL., 2010).....	29
36 PAV. STABILIZAVIMO SISTEMAI SUKURTO BANGŲ NUSPĖJIMO ALGORITMO EFEKTYVUMAS (KUCHLER S. ET AL., 2010)	30
37 PAV. ILGALAIKIS BANGŲ NUSPĖJIMAS (KUCHLER S. ET AL., 2010).....	31
38 PAV. SISTEMOS VEIKIMO SCHEMA (SAWODNY O. ET AL., 2010)	31
39 PAV. KROVINIO SLOPINIMO SISTEMŲ EFEKTYVUMO PALYGINIMAS (KUCHLER S. ET AL., 2010)	32
40 PAV. KINTANTIS SONARO TEMPIMO GREITIS (PETERSON R. S. ET AL., 1994)	32
41 PAV. SONARO SUPIMASIS GULSČIAI (PETERSON R. S. ET AL., 1994).....	33
42 PAV. VAIZDŲ PERSIDENGIMAI IR TARP AI (PETERSON R. S. ET AL., 1994).....	33
43 PAV. SONARO VERTIKALUS SUPIMAS (PETERSON R. S. ET AL., 1994).....	33
44 PAV. IŠKRAIPYTAS NUSKENDUSIO LAIVO VAIZDAS (BPATPI DUOMENŲ FONDAI).....	34
45 PAV. SONARO VERTIMASIS (PETERSON R. S. ET AL., 1994)	34
46 PAV. SONARO ŠVYTAVIMAS SKERSINE AŠIMI (PETERSON R. S. ET AL., 1994).....	34
47 PAV. SONARO VINGIAVIMAS (PETERSON R. S. ET AL., 1994).....	35

48 PAV. VINGIUOJANČIO SONARO AKUSTINIŲ SIGNALŲ VIZUALIZACIJA (YET-CHUNG CHANGET ET AL., 2010).....	35
49 PAV. SONARĄ VEIKIANČIOS JĖGOS	37
50 PAV. LAIVO SVYRAVYMŲ AŠYS (ČERKA J., 2009)	38
51 PAV. BANGOS PAGRINDINIAI PARAMETRAI (STONKUS V., 2006 M., P. 155).....	39
52 PAV. PASIRINKTAS ATSKAITOS TAŠKAS (AUTORIAUS PAV.)	43
53 PAV. SONARO RAIŠKOS IR SKENUOJAMO ATSTUMO PALYGINIMAS (TRUCCO A., ET, AL., 2009).....	47
54 PAV. ŠONINĖS APŽVALGOS SONARO SISTEMA EDGETECH 4100 (BPATPI DUOMENŲ FONDAI).....	48
55 PAV. EDGETECH DISCOVER 4100 (BPATPI DUOMENŲ FONDAI).....	48
56 PAV. SONARO SISTEMOS JUNGIMO SCHEMA (AUTORIAUS PAV.).....	49
57 PAV. JUTIKLIŲ JUNGIMO SCHEMA (AUTORIAUS PAV.)	50
58 PAV. PIRMOJO MATAVIMO METU 3 AŠIŲ GIROSKOPU SURINKTI DUOMENYS.....	55
59 PAV. PIRMOJO MATAVIMO METU 3 AŠIŲ AKSELEROMETRU SURINKTI DUOMENYS.....	55
60 PAV. PIRMOJO MATAVIMO METU AKSELEROMETRU SURINKTI DUOMENYS Z AŠIMI.....	55
61 PAV. ANTROJO MATAVIMO METU AKSELEROMETRU SURINKTI DUOMENYS.....	56
62 PAV. STABILIZUOTI AKSELEROMETRO PARAMETRAI	56
63 PAV. LAIVO PAGREIČIAI IR GREIČIAI VERTIKALIA AŠIMI	57
64 PAV. BENDRASIS KABELIO ILGIO POKYTIS	58
65 PAV. KABELIO ILGIO POKYČIAI PER LAIKĄ Δt	59
66 PAV. NAUDOJAMI METODAI (AUTORIAUS PAV.)	62
67 PAV. SONARO STABILIZAVIMO SISTEMA (AUTORIAUS PAV.).....	65
68 PAV. SONARO SISTEMA NAUDOJANTI GERVĘ (AUTORIAUS PAV.).....	65
69 PAV. DVIEJŲ POLIŲ ŽINGSNINIO VARIKLIO VEIKIMO PRINCIPAS (PAWLAK A. M., 2006).....	67
70 PAV. BENDRAS SISTEMOS VAIZDAS (WWW.ARDUINO.CC)	67
71 PAV. VARIKLIŲ VALDIKLIS L293D (TEXAS INSTRUMENTS, 2007)	68
72 PAV. PASIRINKTAS VAIZDAS (A. ANDZIULIS IR KITI, 2011)	69
73 PAV. PIRMUOJU METODU APDOROTAS VAIZDAS (A. ANDZIULIS IR KITI, 2011)	70
74 PAV. AKUSTINIAI ŠEŠĖLIAI (A. ANDZIULIS IR KITI, 2011)	71
75 PAV. ANTRUOJU METODU APDOROTAS VAIZDAS (A. ANDZIULIS IR KITI, 2011)	71

IVADAS

Klaipėdos uostas – labiausiai į šiaurę nutolęs neužšalantis rytinės Baltijos jūros uostas. Tai yra svarbiausias ir didžiausias Lietuvos Respublikos transporto centras, kuris susijungia jūros, sausumos ir geležinkelio keliai iš rytų ir vakarų. Į uostą kasmet atplaukia vis didesni laivai. Didžiausių uostą atplaukusių laivų sąrašas kasmet papildomas vis didesniais laivais. 2011 m. Klaipėdos uoste pasiekta didžiausia krovinių apyvarta per metus – 36,59 mln. t krovinių. Lietuvos jūrų transporto plėtros planuose du labai svarbūs projektai. Tai suskystintų dujų terminalas Klaipėdos uoste 2012 m – 2014 m ir išorinio giliavandens jūrų uosto statyba Būtingėje arba Klaipėdoje 2020 m. Prieš atliekant statybas, reikia gerai ištirti jūros dugną prie Būtingės ir Klaipėdos jūrų uosto. Taip pat Klaipėdos uostą reikia reguliariai gilinti, atnaujinti, nes jis nuolat užnešamas jūros srovių. 2012 – 2020 metais planuojama itin daug žvalgymo darbų ([Interaktyvus]<www.portofklaipeda.lt>). Tiriant dugną šoninės apžvalgos sonaru reikia išspręsti uždavinį kaip plaukiant banguojančia jūra gauti kokybiškus jūros dugno vaizdus. 2011 metais šoninės apžvalgos sonarais išžvalgyta 190,4 kv. km Lietuvos teritorinių vandenų (BPATPI duomenų fondai).

Tiriant jūros dugno vaizdus bus gaunama itin daug vaizdinės informacijos. 99 % šios informacijos sudaro paprastas jūros dugnas, ir tik kelios vietos gali būti įdomios kaip tyrinėjimų objektai.

Darbo tikslas:

Ištirti šoninės apžvalgos sonarų stabilizavimo metodus ir sukurti išgaunamų vaizdų kokybės gerinimo metodus.

Tikslui pasiekti keliami uždaviniai:

1. Atlikti Lietuvos ir užsienio mokslininkų, šoninės apžvalgos sonaru kokybės gerinimo ir laivo stabilumo tyrimų srities analizę;
2. Remiantis atlikta tyrimų analize, įvertinti sonaru išgaunamų vaizdų kokybės problemas ir parinkti metodus jų sprendimui;
3. Sukurti dinaminės šoninės apžvalgos sonaro ir jį tempiančio laivo judesio stebėjimo sistemos prototipą ir jį naudojant atlikti matavimus.
4. Sukurti sonaru išgaunamų vaizdų kokybės gerinimo sistemų prototipus.
5. Sukurti automatinius vaizdo duomenų apdorojimo metodus, galinčius išryškinti objektus, užfiksuotus sonaru.

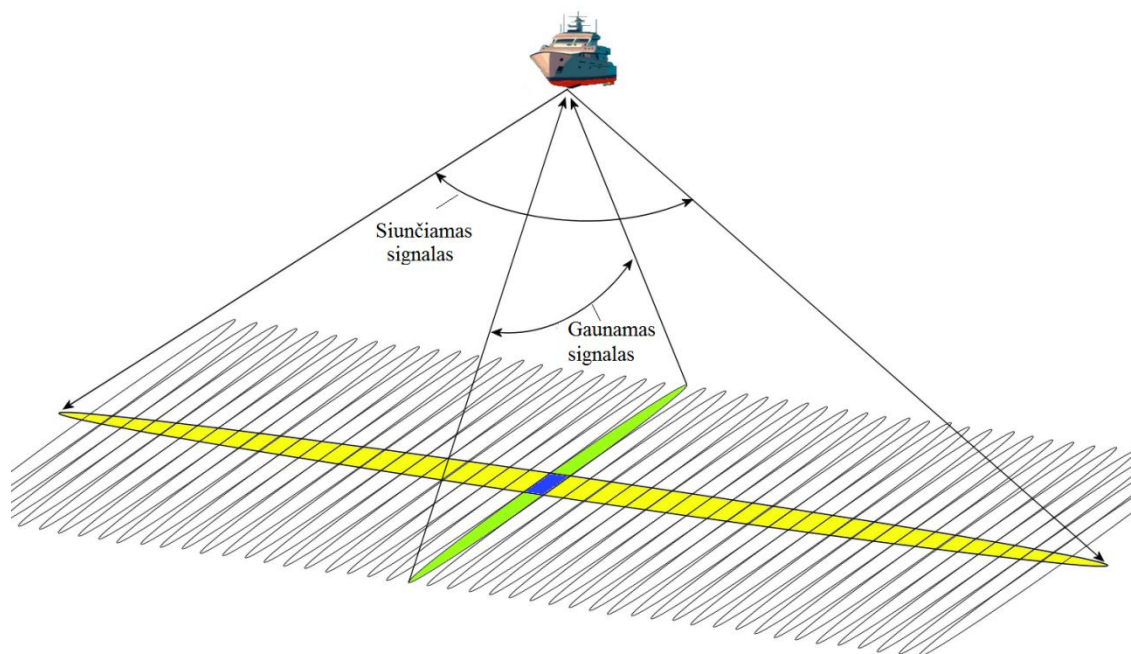
1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Sonarų tipai ir panaudojimo sritys

1.1.1 Sonaro veikimo principas

Sonaras – prietaisas, naudojamas po vandeniu esantiems kūnams aptikti.

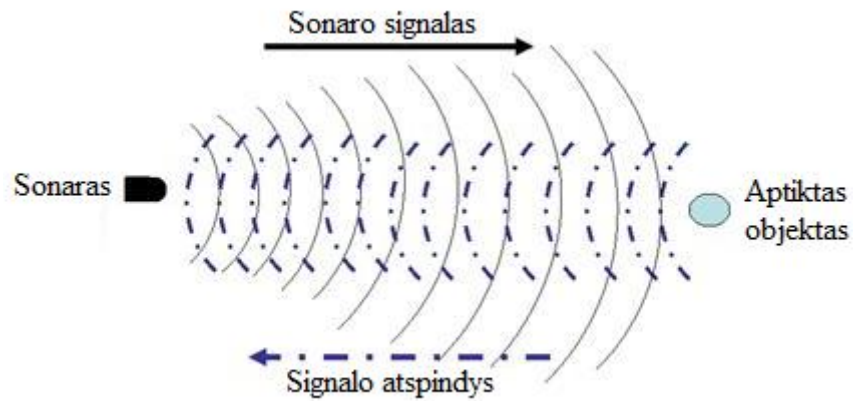
Skiriamos dvi sonarų rūšys – aktyvieji ir pasyvieji. Sonarai veikia paprastu principu matuojant laiką, kurį aidas užtrunka grįždamas į šaltinį. Gautas signalo aidas paverčiamas elektriniais signalais, kurie sonaro ekrane suformuoja kūno (nuo kurio atsispindėjo banga) vaizdą. Dažniai, naudojami sonarų prietaisuose, būna nuo infragarso iki ultragarso. Sonaro veikimo principas pavaizduotas 1 ir 2 paveiksluose.



1 pav. Sonaro veikimo principas (<http://www.amloceanographic.com>)

Pasyvieji sonarai naudojami žvalgybai, laivų bei garsus skleidžiančių vandens gyvūnų paieškai. Šie sonarai nesiunčia jokių signalų, tik priima laivų įrenginių ir sonarų bei gyvūnų skleidžiamus garsus. Laivų stebėjimui pasyvieji sonarai dažniausiai naudojami kariniuose laivuose, taip jie apsisaugo nuo jų pačių aptikimo. Naudojant tokius sonarus iškyla susidūrimo grėsmė, laivai neaptinka vienas kito.

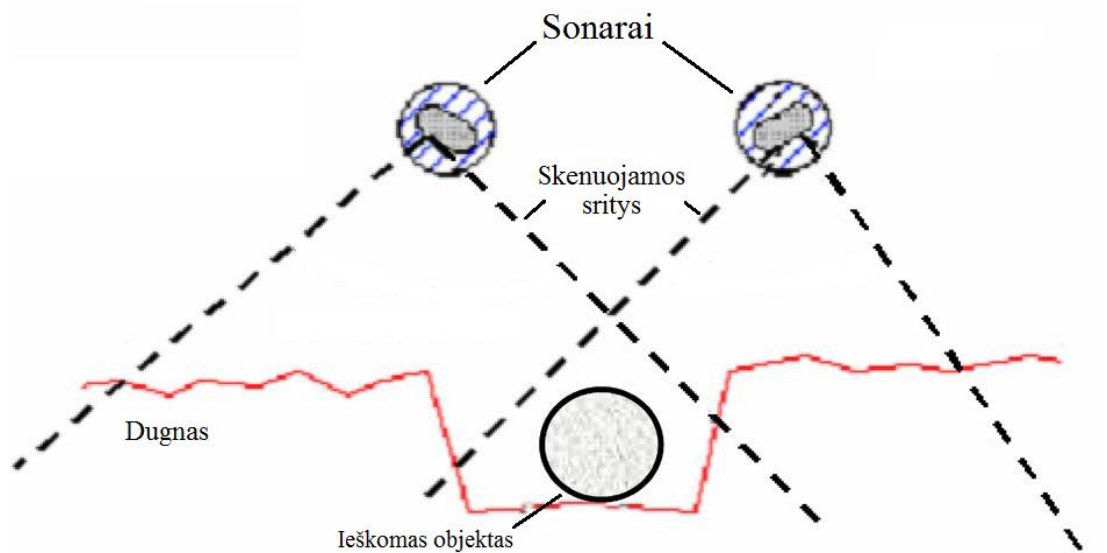
Aktyvieji sonarai naudojami jūros dugno tyrimams, povandeninių laivų navigacijai, blogo matomumo sąlygose vietoj vaizdo kameros (E. O. Becher et al., 2002). Žvejojboje aktyvieji sonarai naudojami aptikti žuvims.



2 pav. Objekto aptikimas (www.marum.de)

Kuo trumpesnėm bangom (t.y didesniu dažniu) dirba sonaras, tuo detalesnis juo gautas vaizdas. Tačiau didelio dažnio garsai yra labai neskvarbūs vandenyje, tai ypač pasireškia gilesniuose vandenyse. Pačio didžiausio dažnio (2000kHz) sonarų matymo atstumas siekia vos keliolika metrų. Renkantis sonarą tenka rinktis kompromisą tarp vaizdo detalumo ir skenuojamo atstumo. Itin aukšto dažnio sonarai gali fiksuoti nuo 1cm dydžio vaizdo detales. Vandeniū garsas sklinda maždaug 1507 m/s greičiu (ore 331 m/s). Be abejo, ir temperatūra, ir slėgis turi įtakos garso sklidimui, todėl jo greitis vandenyje svyruoja ± 100 m/s (BPATPI duomenų fondai).

1.1.2 Sonarų tipai



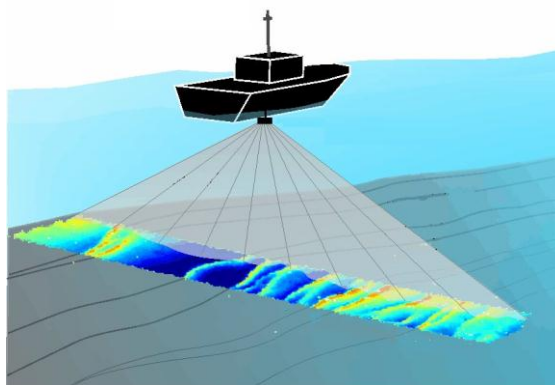
3 pav. Vaizdų persidengimas naudojant du sonarus (Trucco A., et, al., 2009)

Pirmasis tipas tai feno formos kryptiniai sonarai. Tai labai kompaktiški sonarai, turintys integruotą GPS. Šiuos sonarus naudoja narai navigacijai prasto matomumo zonose, naktį, esant

dideliam vandens drumstumui. Dažniausiai šio tipo sonarai naudojami ne žemėlapiams sudaryti, o gelbėjimo arba paieškos darbams negiliuose vandenyse. Šio tipo sonarų skleidžiami spinduliai yra labai siauri, todėl jie ištiria labai nedidelį vaizdo plotą (E. O. Becher et al., 2002). Ši problema sprendžiama GPS pagalba jungiant sonarus į ad hoc tipo tinklus, bei taikant modernius vaizdų apdorojimo algoritmus sujungiant vaizdus į vientisą (Trucco A., et al., 2009).

Darbo galimybės dirbant šio tipo sonarais yra ribotos, dėl jų nelankstumo ir didelės kainos. Šio tipo sonaro skleidžiamo akustinio signalo stiprumą reguliuoja juo dirbantis žmogus, todėl gauti vaizdai nėra tolygūs, darbo metu keičiant sonaro parametrus atsiranda „šuoliai“, kurie išlyginami naudojant vaizdų interpoliaciją (Trucco A., et al., 2009).

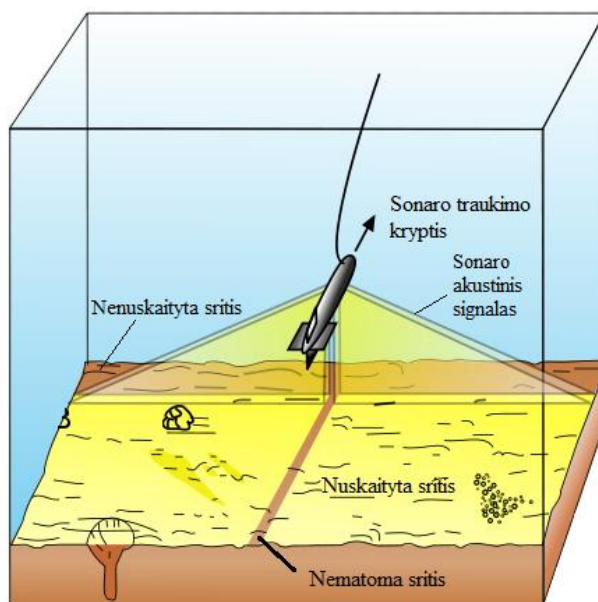
Antrasis naudojamų sonarų tipas – spinduliniai sonarai. Sonaras montuojamas prie laivo korpuso dugno (4 pav.) arba laivo tempiamos platformos, panardinamas į vandenį ir laikomas kuo arčiau vandens paviršiaus, paprastai iki 10 m gylyje. Tyrimo metu gali būti naudojami vienas arba du lygiagrečiai sujungti sonarai, kurių vaizdai persidengia. Pagrindinė tokių vaizdų apdorojimo problema yra persidengiančių vaizdų sujungimas, tuo pačiu persidengiantys vaizdai turi ir didelį privalumą – nuskaitomas platesnis dugno plotas, zona esanti po laivu nuskanuojama iš abiejų pusių (3 pav.), todėl ši zona atpažįstama itin detalai. Tokie sonarai tinkamiausi tiriant dugno reljefą giliuose vandenyse.



4 pav. Spindulinio sonaro veikimas (www.marum.de)

Trečiasis sonarų tipas – šoninės lokacijos sonarai. Šio tipo sonarai dažniausiai naudojami dideliems plotams tirti, todėl jie yra tinkamiausi sudarant jūrų bei vandenynų dugno žemėlapius. Sonaras panardinamas į vandenį kuo arčiau jūros dugno ir tempiamas lyno pagalba (5 pav.). Sonaras skleidžia garso bangas į abu šonus. Esant dideliame gyliui tokių sonarų skenuojamų vaizdų plotis gali siekti keletą kilometrų. Kaip ir kitų tipų sonarų, vaizdo detalumas labai priklauso nuo tiriamo vaizdo pločio bei gylio (BPATPI duomenų fondai ir P. P. Smith et al., 2005). Didžiausi šio tipo sonarų trūkumai – labai skirtingas vaizde esančių šešėlių ilgis, taip yra dėl didelio skenuojamo ploto ir vaizdo viduryje esančios nuo kelių iki kelių šimtų metrų pločio nematomos zonos (nematomos zonos plotis beveik lygus sonaro aukščiui virš jūros dugno), kurią galima panaikinti

naudojant vaizdų persidengimą dugną skenuojant dviem lygiagrečiai sujungtais sonarais, naudojant pagalbinį spindulinį sonarą arba akustinę kamerą, kartais problema sprendžiama tiesiog paliekant šią zoną neišvalgytą. Didžiausi privalumai – tiriamo vaizdo plotis, bei šešėliai, jie leidžia pamatyti objektų profilius (BPATPI duomenų fondai).

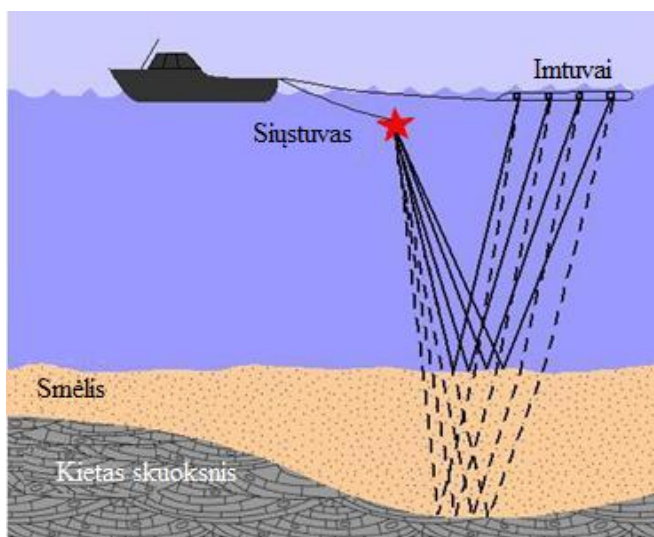


5 pav. Šoninės lokacijos sonaro veikimas (www.divetheworld.com)

1.1.3 Dugno profilio skenavimo sonarų sistemos

Šio tipo sonarai veikimo principu labai panašūs į spindulinius sonarus, tik jų skleidžiamas akustinis spindulys yra daug siauresnis nei sonaro skirto dugno paviršiui tirti. Sonaro sistemą sudaro siųstuvai bei imtuvai, imtuvų plotas yra didesnis už siųstuvų (6 pav.). Jų paskirtis – skenuoti dugno profilį, t.y. tirti paviršinius dugno sluoksnius. Profilinginis sonaras dirba efektyviau kai siųstuvai ir imtuvai yra toliau vienas nuo kito. Šie sonarai sudaro siųstuvų ir imtuvų sistemą. Pasitelkus tokias sistemas galima tirti gilesnius dugno sluoksnius, tyrimų rezultatai yra tikslesni nei tiriant sonaru, kurio siųstuvai ir imtuvai sumontuoti viename korpuse. Taip yra todėl kad sonaras gali siųsti signalus į dugną didesniu kampais. Pagrindiniai profilinginio skenavimo ir spindulinių sonarų skirtumai – spindulio plotis (profilinio skenavimo sonaruose jis yra labai siauras) ir akustinių signalų dažnis, dažniausiai naudojami nuo kelių iki keliolikos kilohercų dažniai. Taip pat verta paminėti kad generuojamų signalų galia yra daug didesnė nei paviršiui tirti skirtų sonarų, o vienas signalas ištiria tik vieną vaizdo tašką, kurie, keičiant sonaro poziciją, jungiami į liniją. Kaip ir dugno paviršiui tirti skirtuose sonaruose, naudojant didesnę dažnį mažėja tiriamos zonos gylis, o raiška – didėja. Mažinant dažnį vyksta atvirkštinis procesas. Maksimalus tiriamas dugno gylis siekia iki 50 m, tačiau jis labai keičiasi nuo dugno sudėties. Minkštesni sluoksniai sugeria akustinį signalą ir taip

labai mažina tiriamą gylį. Sluoksniai atpažįstami pagal tai, kaip tarp sluoksnių keičiasi garso lūžio rodikliai, tai parodyta 9 paveiksle. Gauti rezultatai palyginami su mokslinėse tyrimų laboratorijose atliktais tyrimais, bei jūros dugne darant gręžinius ištirtuose kontroliniuose taškuose atliktais grunto akustiniais bandymais. Remiantis šiais kontroliniais tyrimais, kiekvienam sluoksniui priskiriamos jį sudarančios medžiagos. Ištirtos dugno sritys sujungiamos naudojant interpoliacijos metodą ir gaunamas apytikslis trimatis jūros dugno sedimentinis (nuosėdų) žemėlapis (www.csc.noaa.gov).



6 pav. Dugno profilio skenavimo sonaro sistema (www.geophysix.no)

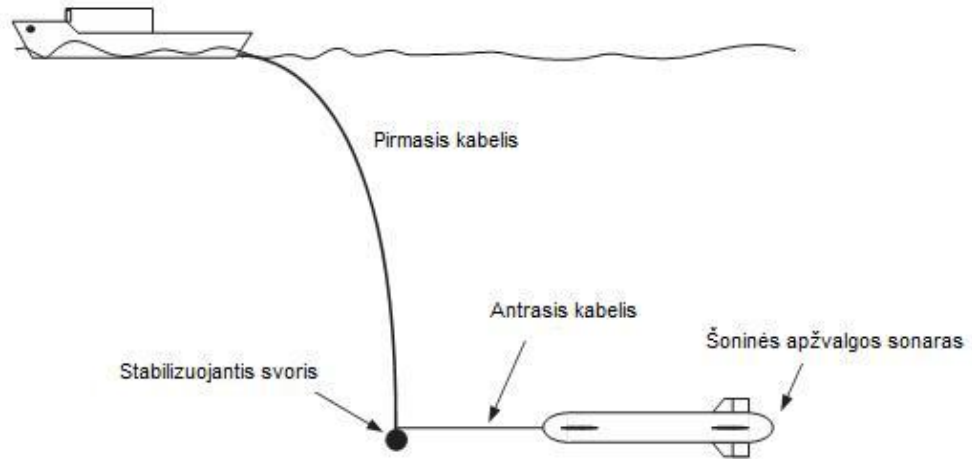
1.2. Sonaro sistemos stabilizavimas

Moksliniame darbe „Nonlinear adaptive control of an underwater towed vehicle“ (F. C. Teixeira et al., 2010) atliktas įprasto šoninės apžvalgos sonaro panaudojimo galimybių tyrimas, kuriame sprendžiamos dvi pagrindinės su tyrimais, naudojant šoninės apžvalgos sonarus, susijusios problemos:

1. Pastovaus gylio palaikymo.
2. Vandens paviršiaus bangavimo sukeltamų nepageidaujamų sonaro judesių slopinimo problema, tiesiogiai siejama su išgautų vaizdų kokybe.

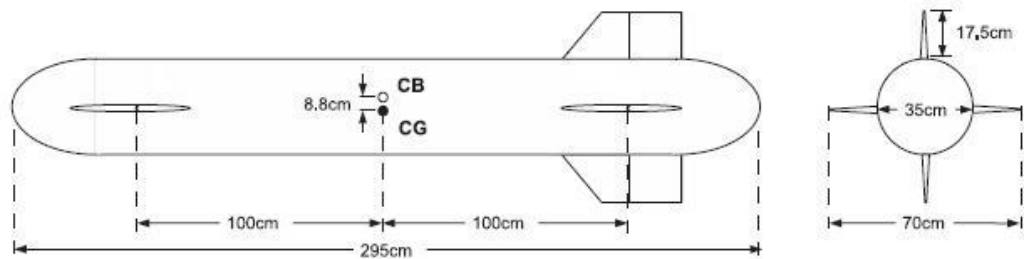
Šioms problemoms spręsti autoriai suprojektavo originalią sonaro konstrukciją su stabilizuojančiu svoriu (7 pav.). Šią sistemą sudaro:

- motorinis laivas, galintis palaikyti pastovų plaukimo greitį 2–12 mazgų ribose, tinkamas eksploatuoti atviruose vandenyne;
- šoninės apžvalgos sonaras, skirtas gilių vandenų tyrimams;
- didelio svorio stabilizatorius, skirtas palaikyti reikiamą sonaro panirimą vandenyje.



7 pav. Sukurta sonaro konstrukcija su papildomu svoriu sonaro gyliui stabilizuoti (F. C. Teixeira et al., 2010)

8 paveiksle autoriai pateikia pagrindinius sonaro matmenis. Jų suprojektuoti keli galimi virtualūs sistemos modelių parametrai pateikiami 1 lentelėje, iš kurių matome, kad panardinamas stabilizatorius yra beveik du kartus masyvesnis už naudojamą sonarą. Ilgas sonaro kabelis (800m) parodo, kad sistemą galima naudoti ir labai giliuose vandenyse. Pasitelkiant specializuotą programinę įrangą, bangos simuliuotos naudojant JONSWAP (Joint North Sea Wave Project) bangų modelį. Simuliuojamų bangų aukštis – 1,5 m.



8 pav. Sistemoje naudojamo sonaro brėžinys (F. C. Teixeira et al., 2010)

1 lentelė. Virtualių sistemos modelių bendrieji parametrai

Sonaro masė	113,5 kg
Sonaro svoris vandenyje	-5,7 kg
Sonaro ilgis	2,95 m
Pirmojo kabelio ilgis	0 – 800 m
Antrojo kabelio ilgis	30–50–100 m
Stabilizuojantis svoris	200 kg
Simuliuojamų bangų aukštis	1,5 m

Darbe naudotų kabelių ilgiai yra dideli, pirmojo kabelio ilgis 800 m. Simuliacijų ir eksperimentų metu buvo naudojami skirtingų ilgių kabeliai, jungiantys didelio svorio stabilizatorių ir sonarą – 30 m, 50 m ir 100 m.

Simuliacijoms naudota bangavimo formulė:

$$\omega_e(u, \omega_0, \beta_e) := \left| \omega_0 - \frac{\omega_0^2}{g} u \cos \beta_e \right|, \quad (1)$$

čia:

ω_e – bangų dažnumas;

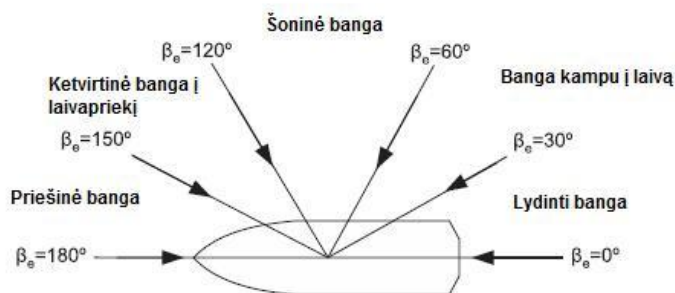
u – bangavimo greitis;

ω_0 – JONSWAP bangavimo spektro modalinis dažnis;

β_e – kampas tarp laivo plaukimo trajektorijos ir bangų sklidimo krypties;

g – laisvojo kritimo pagreitis;

Bangų dažnumas (ω_e) parodo kaip dažnai banga atsimuša į laivo korpusą, ir išveda laivą iš pastovios trajektorijos. Bangavimo greitis (u) parodo koku greičiu keliauja bangos jūros paviršiuje nejudančio taško atžvilgiu. Simuliacijose naudojamos bangos, sudarytos pagal JONSWAP modelį, kuris apibūdina bangas, dažniausiai pasitaikančias jūrų ir vandenynų regionuose, esančiuose netoli nuo pakrančių. Kampas β_e atskaitos sistema prasideda nuo laivagalio. Tokia atskaitos sistema pasirinkta todėl, kad sutampant bangų sklidimo kryptį su laivo plaukimo kryptimi, laivą pasiekia mažiausias kiekis bangų.



9 pav. Bangavimo kryptys laivo atžvilgiu (F. C. Teixeira et al., 2010)

Pagrindiniu tiriamos sistemos parametru pasirinktas antrojo kabelio ilgis. Kiti svarbūs kintamieji:

- sonarą tempiančio laivo greitis,
- sonaro aukštis virš dugno.

Autorių kompiuteriniais skaičiavimais pagrįstų simuliacijų rezultatai parodė, kad sistema su stabilizuojančiu svoriu yra efektyvi. Papildomas svoris sistemoje padeda efektyviai reguliuoti sonaro panirimo gylį, taip pat svoris sugeria bangavimo sukeltą sonaro judesį. Suprojektuotos sistemos simuliacijų rezultatai parodė, kad sistemos efektyvumas didėja ilginant antrąjį kabelį. Tačiau visi antrojo kabelio ilgiai duoda teigiamų rezultatų (10 pav.). Simuliacijose didinant sonaro tempimo greitį, didėjo ir trukdžiai, tačiau skirtumai taip 2, 3 ir 6 mazgų tempimo greičių yra labai nedideli, didesni trukdžiai atsiranda tik prie 8 mazgų greičio.

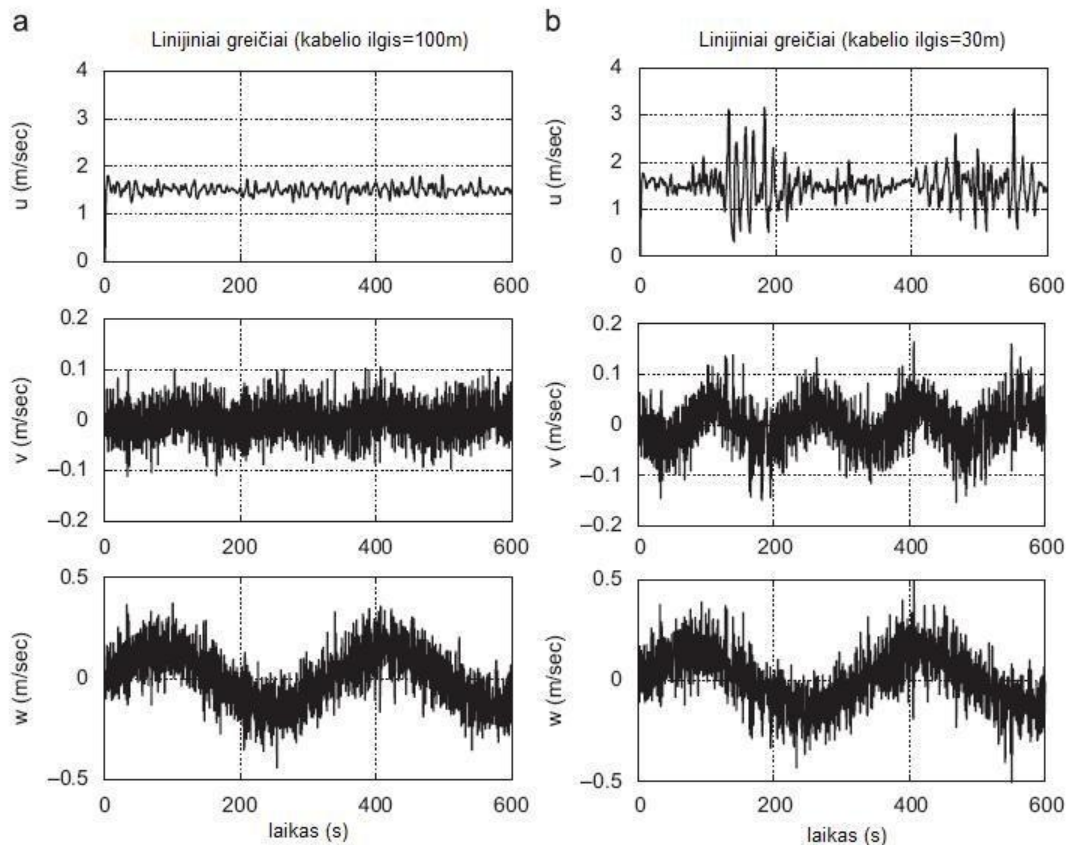
10 pav. pateikiamose diagramose – atliktų eksperimentinių tyrimų rezultatai. Matavimų metu buvo plaukta 3,5 mazgų greičiu. Tyrimo metu buvo naudojami skirtingo ilgio kabeliai, jungiantys stabilizatorių ir sonarą. Pirmojo eksperimento metu (pažymėtas „a“), naudotas ilgas 100 m kabelis, laivas plaukė tolygiai 3,5 mazgų greičiu. Antrojo eksperimento metu sąlygos nepasikeitė, bet kabelio ilgis sumažintas iki 30 m.

Pirmoje paveikslo (10 pav.) eilutėje matome tempimo greičio grafikus. A grafikas, vaizduojantis sonaro su 100 m kabeliu judėjimą, yra akivaizdžiai tolygesnis už b grafiką, a grafike nėra jokių šuolių, greitis kinta 1,3–1,8 m/s ribose. B grafike matome tą patį vidutinį greitį kaip ir a grafike, tačiau šio plaukimo metu užfiksuoti greičiai kito nuo 0,3 m/s iki 3,2 m/s. Pirmojo eksperimento metu užfiksuota sonaro greičių pokyčių amplitudė (0,5 m/s) yra beveik 6 kartus mažesnė nei antrojo eksperimento metu (2,9 m/s).

Antroje eilutėje pateikiami sonaro svyravimo centrine ašimi matavimai. Pagal a grafiką matome, kad sonaro tempimo greitis yra tolygus, greitis kinta tarp - 0,1 m/s ir 0,1 m/s. B grafike pateiktuose duomenyse matosi sonaro svyravimai. Svyravimų greičiai kinta nuo - 0,15 m/s iki 0,15 m/s. Tai reiškia, kad svyravimo greičiai naudojant 30 m kabelį yra 1,5 karto didesni. Pagreičių amplitudžių skirtumai gali siekti 2–3 kartus.

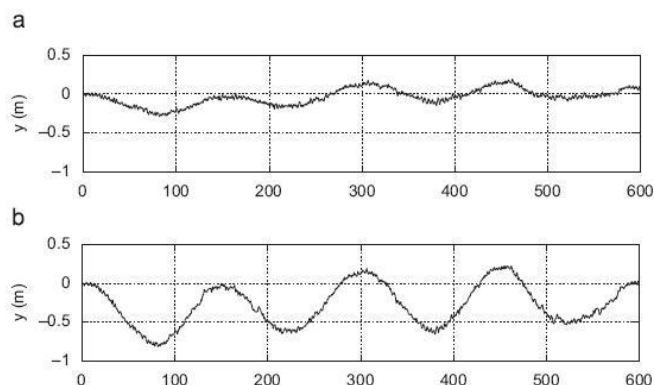
Trečioje eilutėje pateikiami labai svarbaus šiam darbui parametro – sonaro vertikalios švytavimo greičiai. Šiuos švytavimo greičius mažina didelis kabelio, jungiančio stabilizatorių ir sonarą, ilgis. A ir b grafikų vaizduojami greičio kitimai yra labai panašūs, tačiau, naudojant 100 m kabelį, greičiai yra mažesni.

Iš šių grafikų galime padaryti išvadą, kad naudojant ilgesnį kabelį tarp sonaro ir stabilizatoriaus galime pasiekti tolygesnį sonaro tempimą, mažesnius sonaro svyravimus apie centrinę ašį. Sonaro vertikalios švytavimo problemos kabelio ilginimas neišsprendžia, bet sumažina judėjimo greičius.



10 pav. Simuliacijų rezultatai, kur U – sonaro tempimo greitis, V – sonaro svyravimų centrine ašimi greitis, W – sonaro judėjimas aukštyn–žemyn (y–ašimi) (F. C. Teixeira et al., 2010)

11 pav. pateiktuose grafikuose parodyta sonaro padėtis laiko ir y ašies atžvilgiu. Pirmajame grafike (a) pateikiami duomenys, surinkti naudojant 100 m kabelį tarp sonaro ir stabilizatoriaus. Matavimo metu didžiausias sonaro nuokrypis nuo nulinės padėties y ašimi siekė 0,3 m. Antrame grafike (b) pateikiami duomenys, surinkti sonaro sistemoje naudojant 30 m kabelį. Grafike daug aiškiau matosi aukščio svyravimai. Didžiausias nuokrypis – 0,8 m, tai yra net 2,7 karto daugiau nei naudojant ilgesnį kabelį.

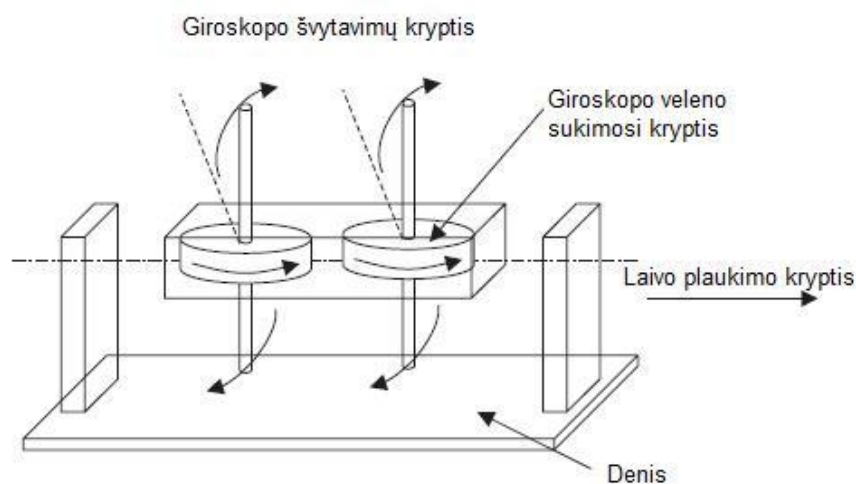


11 pav. Sonaro svyravimai naudojant 100 m kabelį (a) ir 30 m kabelį (b) (F. C. Teixeira et al., 2010)

1.3. Laivo stabilizavimas masyviais giroskopais

Publikacijoje „A new active gyrostabiliser system for ride control of marine vehicles“ (N. C. Townsend et al., 2007) aprašoma laivo stabilizavimo giroskopais sistema.

Sistemą sudaro du į vieną pusę besisukantys giroskopai, kurių bendra masė sudaro 11,5% laivo keliamosios galios. Giroskopai prie laivo korpuso pritvirtinti taip, kad jie galėtų judėti nepriklausomai nuo korpuso.



12 pav. Giroskopinės stabilizavimo sistemos bendrasis vaizdas (N. C. Townsend et al., 2007)

Modeliui realizuoti tyrėjų pasirinktas 42 m ilgio katamarano tipo laivas. Eksperimentams buvo sukurtas sumažintas laivo modelis, kuriame įrengti stabilizatoriai kurių sukimosi greitis 4000 aps/min ir 6200 aps/min greičiais arba buvo sustabdyti. Giroskopai buvo priverstinai papildomai sukami laisva ašimi. Šis sukimasis yra gerokai lėtesnis, naudoti 51 ir 85 apsisukimų per minutę greičiai. Toks sukimasis dar vadinamas švytavimu (angl. *nutation*). Bendrasis sistemos vaizdas pateikiamas 12 pav. Eksperimento tikslas – išsiaiškinti koku didžiausiu dažniu bangoms atsimušant į laivo modelio korpusą šis išlieka stabilus ir gali tolygiai plaukti. Eksperimento metu naudojamas bedimensinis dydis (N. C. Townsend et al., 2007), nusakantis kaip dažnai bangos atsitrenkia į modelio korpusą (šiam darbe toliau vadinamas sąlyginiu bangavimo vienetu). Šio dydžio reikšmėms paskaičiuoti naudojama 2 formulė.

$$\dot{\omega}_e = \omega_e \sqrt{L/g}, \quad (2)$$

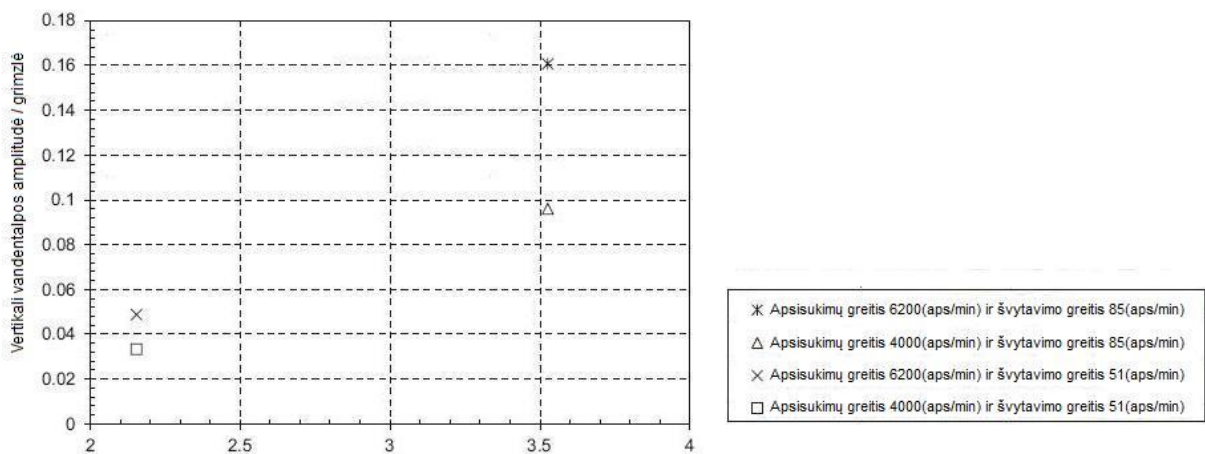
Čia:

$\dot{\omega}_e$ – bedimensinis dydis, nusakantis bangų poveikį laivo judėjimui;

ω_e – į laivo korpusą atsimušančių bangų dažnis, Hz;

L – laivo ilgis, m;

g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s².



13 pav. Laivo stabilumas kontroliuojamo bangavimo aplinkoje (N. C. Townsend et al., 2007)

Šio bangavimo įtaka laivo modeliui – sukiamas jo vertikalus švytavimas. Pirmasis eksperimentas atliktas kontroliuojamoje aplinkoje, kurioje galima dirbtinai reguliuoti bangavimo parametrus. Eksperimento rezultatai, pateikti 13 paveikslėlyje, parodė, kad bangavimui siekiant 2,1 sąlyginių bangavimo vienetų, laivo modelis švytavo mažiausiai, kai giroskopas sukosi 4000 aps/min, švytavo 51 aps/min greičiais. Prastesni rezultatai gauti, kai giroskopas sukosi 6200 aps/min ir švytavo 51 aps/min greičiais. 85 aps/min giroskopo švytavimo greitis naudotas esant didesniai sąlyginių bangavimo vienetų bangavimui. Šių bandymų metu užfiksuoti ta pati tendencija – geresnių rezultatų pasiekta, kai giroskopas sukosi 4000 aps/min greičiu.

Prieš atliekant antrąjį eksperimentą atlikti skaičiavimai, nustatantys kaip laivas judės banguojančiame vandenyje. Skaičiavimai atlikti dviem skirtingomis sąlygomis, kai laive įrengti stabilizuojantys girokopai nesisuka ir kai girokopai sukasi 4000 aps/min greičiu. Judesių aprašymui naudota (3) matematinė formulė. 14 pav. pateikti eksperimentų metu atliktų matavimų ir simuliacijų rezultatai. Matome, kad simuliacijos nuspėjo judesių kitimo tendencijas, bet ne vertes. Grafike duomenys pateikiami dviem bedimensinėmis ašimis. Abscisių ašyje pavaizduotas bedimensinis laivo vertikalus judesys, ordinačių ašyje pavaizduotos sąlyginių bangavimo vienetų reikšmės. Įjungus girokopinio stabilizavimo sistemą, laivo svyravimai sumažėjo nuo 30% iki 70%.

$$M_y = -I_z \omega_x \dot{\psi}, \quad (3)$$

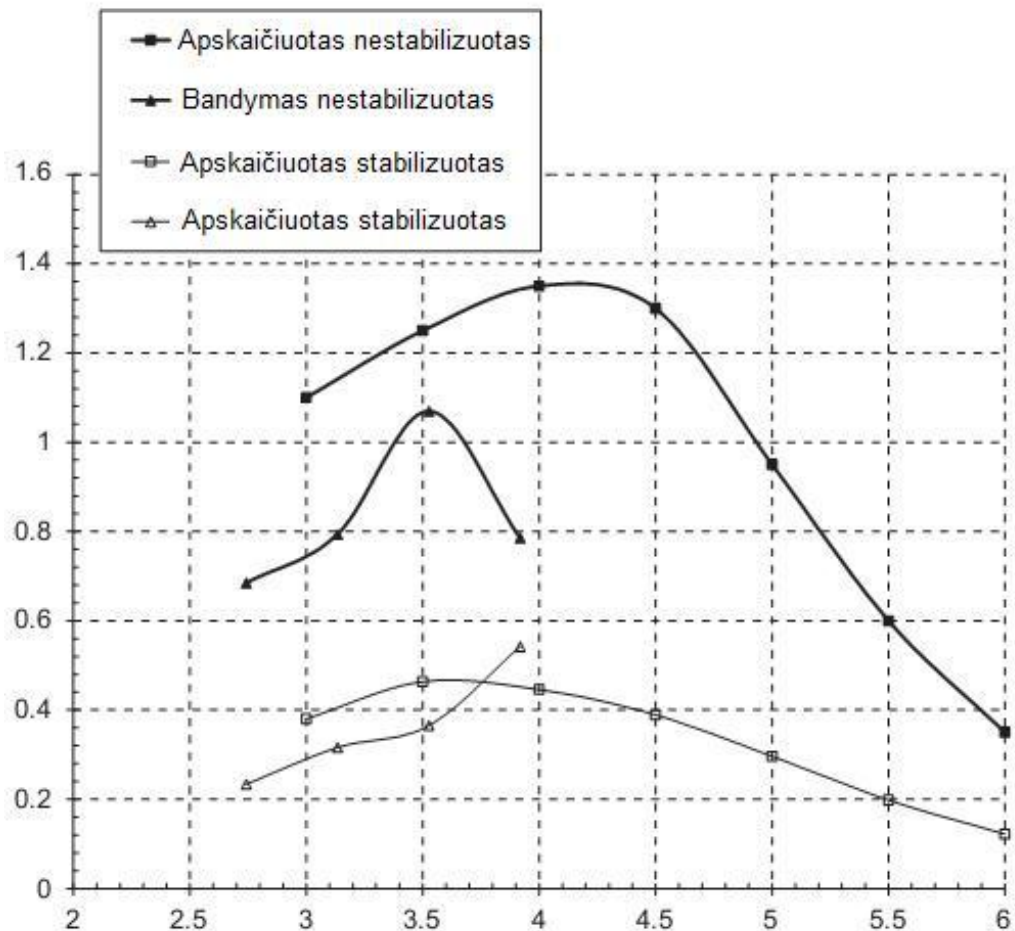
čia

M_y – momentas Y ašies atžvilgiu, Nm;

I_z – masės momento inercija Z ašies atžvilgiu, kgm^2 ;

ω_x – kampinis greitis apie x ašį, rad/s;

$\dot{\psi}$ – apsisukimai per minutę.

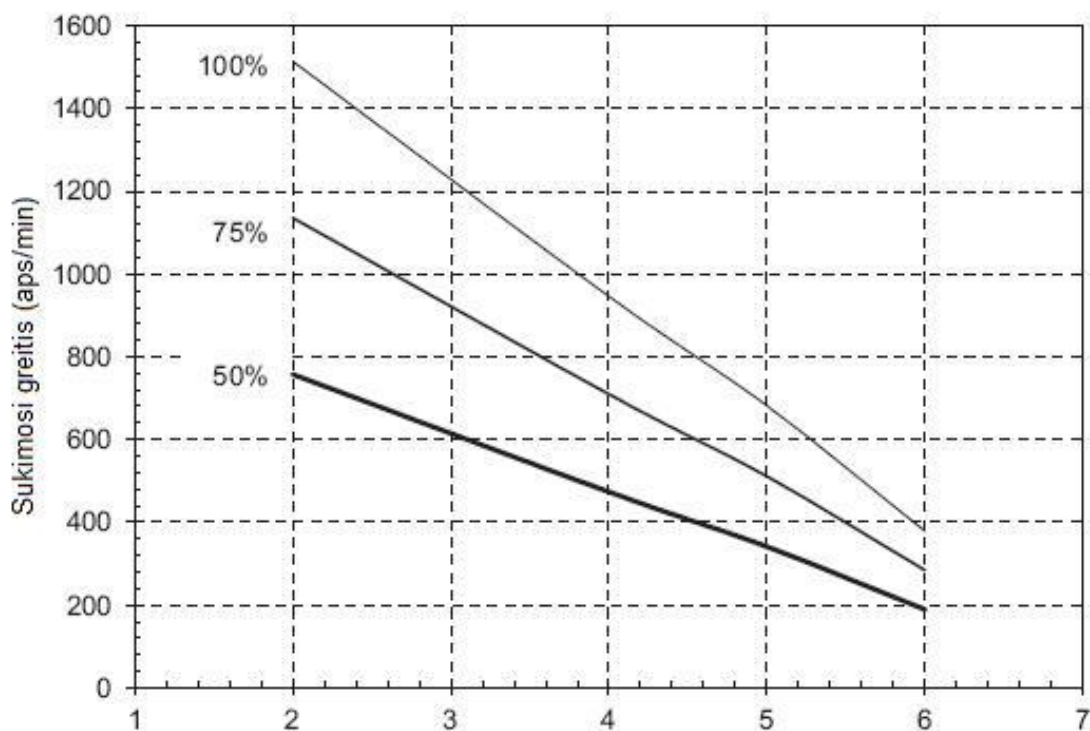


14 pav. Sistemos su girokopiniais stabilizatoriais svyravimai (N. C. Townsend et al., 2007)

Remiantis simuliacijų ir bandymų rezultatais buvo apskaičiuoti realios stabilizavimo sistemos 42 m ilgio katamarano tipo laivui stabilizuoti reikia dviejų 3,23 m diametro besisukančių plieninių rotorių, kurių bendra masė 52000 kg. Girokopinių įrenginių masė sudarytų 17,4% laivo vandentalpos.

Remiantis eksperimentų ir simuliacijų rezultatais, atsižvelgiant į eksperimentų metu naudoto laivo modelio mastelį, tyrėjai sudarė laivo reakcijų į bangas aprašomuosius grafikus pateiktus 15 pav. Ordinačių ašyje pateikiamas apsisukimų per minutę skaičius, ordinačių ašyje – sąlyginiai bangavimo vienetai. Numatomi trys pagrindiniai vertikalių laivo švytavimų panaikinimo scenarijai: 100%, 75%, 50%.

Pagal grafiką matosi, kad laivą stabilizuojančių rotorių sukimosi greitis yra tiesiogiai proporcingas pasiekiamam vertikalaus laivo švytavimo sumažėjimui.



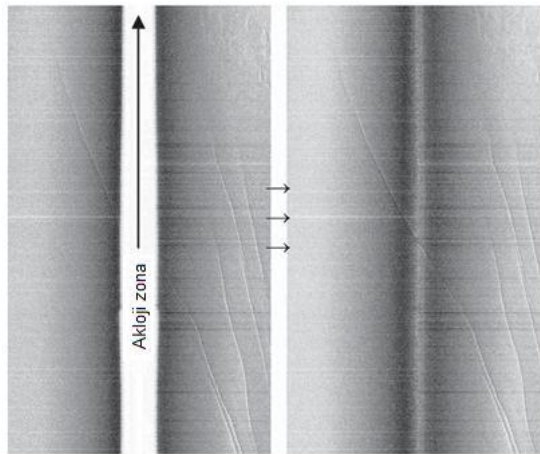
15 pav. Realaus dydžio laivo švytavimo sumažinimas

1.4. Vaizdų apdorojimas

Publikacijoje „Sidescan sonar image processing: correcting brightness variation and patching gaps“ (Yet-Chung Changet et al., 2010) apžvelgiami trys programiniai metodai, leidžiantys pagerinti šoninės apžvalgos sonarais gautus vaizdus.

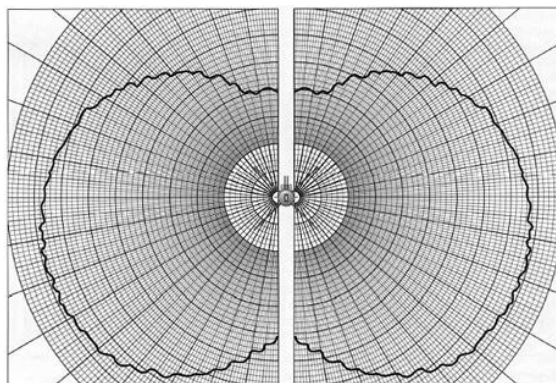
Pirmasis aprašomas metodas yra paprasčiausiai įgyvendinamas. Jis panaikina sonaro vaizde esančią „aklają“ zoną, kuri matoma visų šoninės apžvalgos sonarais gautų vaizdų centre (16 pav.).

Šiuo metodu apdorojant vaizdus yra iškerpama centrinė dalis ir jos vietoje įdedama juosta, kurios spalvos intensyvumas nustatomas pagal aplinkinių taškų vidurkį. Šiuo metodu apdoroti vaizdai gražiau atrodo jūros dugno žemėlapiuose, tačiau netinka tyrinėtojams, nes dirbtinai sukurtose ir įklijuotose vietose gali būti svarbūs objektai, kurių nesimatys. Tiriant neapdorotą vaizdą būtų lengviau suprasti, kurios zonos yra neištirtos. Iškerpamos juostos plotis dugne gali būti nuo kelių iki keliasdešimties metrų. Svarbu tai, kad remiantis šiuo metodu vaizdus galima apdoroti realiu laiku, tačiau rekomenduojama pasilikti ir originalius vaizdus, nes apdorotame vaizde yra sintetiniu būdu sukurtų vaizdo taškų. Šiose dugno vietose gali būti svarbūs objektai, o apdorotame vaizde su sintetiniu būdu užpildytomis sritimis tą sunku pastebėti.

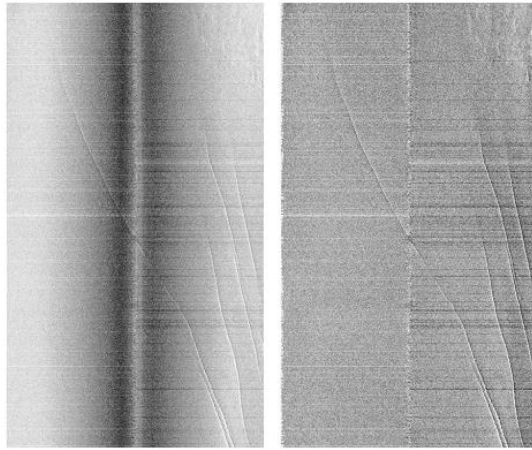


16 pav. „Aklosios“ zonos panaikinimas šoninės apžvalgos sonaru išgautame vaizde (Yet–Chung Changet et al., 2010)

Antrasis metodas skirtas pašalinti sonaro signalų atspindžių intensyvumo skirtumus priklausančius nuo atstumo. Šie skirtumai lemia tai, kad sonaru išgauti vaizdai būna labai netolygūs, objektai, esantys arti sonaro, vaizduojami labai tamsūs, o esantys toli nuo sonaro – labai blyškūs. Taip yra iškraipomas vaizdas ir tyrėjams yra sunku nustatyti tikrąjį skirtumą tarp skirtingose zonose esančių objektų. Norint taikyti šį metodą pirmiausiai reikia ištirti sonaro skleidžiamo signalo intensyvumą įvairiais kampais (17 pav.). Naudojant gautus duomenis, galima sudaryti algoritmą, kuris slopintų signalus, gautus skenuojant dugno sritis esančias prie sonaro ir stiprintų signalus gautus iš nutolusių nuo sonaro sričių. Pirminio ir apdoroto anksčiau aprašytu metodu signalų vaizdai pateikti 18 paveiksle. Kairėje pateikiamas vaizdas prieš vaizdo apdorojimą, dešinėje – po apdorojimo. Šiuo metodu vaizdus galima apdoroti realiu laiku ir po duomenų surinkimo, originalių vaizdų saugoti nėra būtinybės, nes siūlomas algoritmas nekeičia vaizdo turinio, tik optimizuoja atskirų vaizdo sričių šviesumą ir kontrastingumą.



17 pav. Sonaro skleidžiamų signalų intensyvumas įvairiomis kryptimis (Yet–Chung Changet et al., 2010)



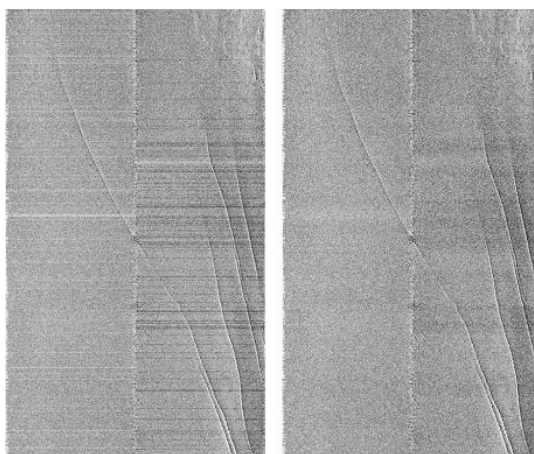
18 pav. Vaizdo ryškumo optimizavimas (Yet–Chung Changet et al., 2010)

Trečiasis aprašytas šoninės apžvalgos sonarais gautų vaizdų kokybės gerinimo metodas skirtas koreguoti sonaro skleidžiamų signalų intensyvumų skirtumus. Idealiomis sąlygomis šoninės apžvalgos sonaras turėtų skleisti vienodo intensyvumo signalus, tai reiškia, kad ir gaunami signalai turi būti panašaus intensyvumo, tačiau dėl įvairių trukdžių sonaro signalų intensyvumai gali skirtis, tą galima nesunkiai pastebėti sonaru nuskenuose vaizduose. 19 paveiksle vaizduojami atskirų sonaro siunčiamų signalų intensyvumų skirtumai. Ordinačių ašyje pateikiami signalų intensyvumai, abscisių ašyje – laikas. Abi ašys naudoja sąlyginius bedimensinius vienetus. Šio metodo esmė – kiekvienai sonaru nuskaitytai vaizdo eilutei nustatyti intensyvumą, lygų dvidešimties aplinkinių eilučių intensyvumo vidurkiui. Taip vaizdas tampa tolygesniu ir lengviau skaitomu. Vaizdų skirtumai su vaizdo taisymu ir be vaizdo taisymo pateikti 20 paveiksle. Kairėje pateikiamas vaizdas prieš signalų intensyvumo optimizaciją, dešinėje – po optimizacijos.

Šiuo metodu rekomenduojama vaizdus apdoroti po vaizdo skenavimo, nes realiu laiku keičiant vaizdą tektų vėlinėti sonaro signalus. Taip būtų komplikuojamas sonaro duomenų nuskaitymas tiksliai laiku. Duomenų vėlinimas privalomas nes kiekvienas impulsas turi būti palyginamas su dešimčia signalų, kurie bus nuskaityti po apdorojamo signalo.



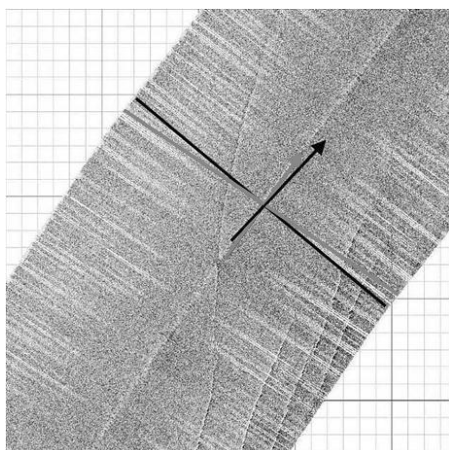
19 pav. Sonaro skleidžiamų signalų intensyvumai (Yet–Chung Changet et al., 2010)



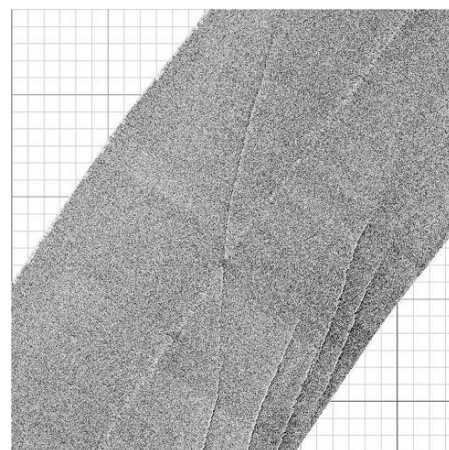
20 pav. Sonaro signalų intensyvumo optimizacija (Yet–Chung Changet et al., 2010)

Ketvirtasis publikacijoje aprašomas metodas yra skirtas tarpų tarp vaizdo eilučių, atsirandančių dėl įvairių trikdžių, užpildymui. Tokio vaizdo pavyzdys pateikiamas 21 paveiksle.

Neužpildytus vaizdo tarpus siūloma taisyti tuštiems vaizdo taškams priskiriant artimiausios vaizdo eilutės reikšmes. Tokiu būdu visas skenuojamas plotas užpildomas vaizdu. Šio metodo trūkumas tas, kad vaizde gali atsirasti nepageidaujimų linijų ir vaizde esantys objektai vaizduojami netinkamai (ištempti, iškraipyti). Galutinis rezultatas pateikiamas 22 paveiksle.



21 pav. Vaizdas su neužpildytais tarpais (Yet–Chung Changet et al., 2010)



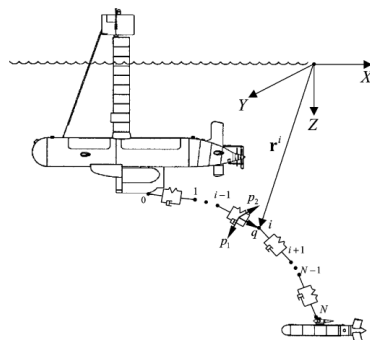
22 pav. Vaizdas su užpildytais tarpais (Yet–Chung Changet et al., 2010)

1.5. Laivo manevravimo technikos įtaka sonaro stabilumui

Kanados Viktorijos, McGill universitetų mokslininkų ir Kanados valstybinės gynybos įstaigos darbuotojų publikuotuose straipsniuose (B. Buckham et al., 2003 ir C. Lambert et al., 2003) aprašoma jūros dugno skenavimo sistema, skirta minų ir kitų potencialiai pavojingų įrenginių paieškai. Sistemą sudaro du įrenginiai. Pirmasis – autonominis pusiau panardinamas laivas, kurio

korpuso konstrukcija panaši į povandeninio laivo, antrasis – po vandeniu tempiamas šoninės apžvalgos sonaras. Abu įrenginiai sujungti duomenų kabeliu.

Pirmojoje publikacijoje (B. Buckham et al., 2003) aprašomas šoninės apžvalgos sonaro ir jį tempiančio laivo sistemos matematinis modelis, bandomas nuspėti jų judėjimas realioje aplinkoje. Viena pagrindinių publikacijoje pateikiamų problemų – įrenginius jungiančio trosu dinamika po vandeniu, skaičiuojama kaip bangavimas įtakoja sonaro dinamiką. Laivus jungiantį trosą siūloma suskaidyti į daugybę taškų, kuriems priskiriamos trosui būdingos savybės. Sistemos modelio grafinis vaizdas pateikiamas 23 paveiksle.

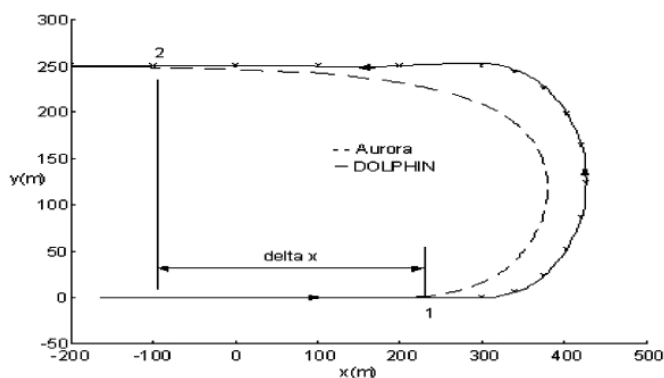


23 pav. Sistemos modelio vaizdas (B. Buckham et al., 2003)

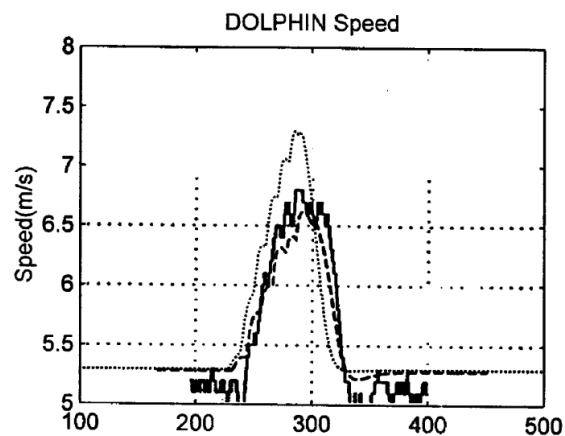
Antrojoje publikacijoje (C. Lambert et al., 2003) palyginami matematinių simuliacijų ir realių bandymų rezultatai. Kiekvienos dugno skenavimo misijos neatsiejama dalis yra laivo U formos apsisukimai. Jie būtini norint nuskenuoti didelio pločio dugną, nes kiekvieno praplaukimo metu nuskenuojama nuo 70 iki 200 m pločio dugno juosta. Kiekvienos misijos metu laivas turi apsisukti bent keletą kartų. Paprastai ši skenavimo dalis atima nemažai laiko. Pirmojo testo metu tirtas laivo standartinis U formos apsisukimas, kurio metu papildomas apkrovas gauna abu sistemą sudarantys įrenginiai, ypač sonaras, nes jis konstruotas plaukti kiek įmanoma stabiliau tiesia trajektorija. Tas pats veiksmas pradžioje buvo atliktas kompiuterinių simuliacijų pagalba, naudojant du skirtingus metodus, po to atliktas realus bandymas. Eksperimentų metu naudota plaukimo trajektorija pateikiama 24 paveiksle. Ištisine linija pavaizduota laivo plaukimo trajektorija, punktyrine linija – sonaro trajektorija. 24 paveiksle matyti, kad laivui apsisukus, sonaras tiesiai pradeda plaukti tik už 400 m. 25 paveiksle pateikiamas laivo greičio pokytis atliekant apsisukimo manevrą. Matome, kad laivo greitis nuo standartinio 5,2 mazgų greičio padidėjo iki beveik 7 mazgų. Punktyrine ir taškine linijomis pavaizduoti simuliacijų rezultatai, ištisine – bandymo rezultatai. 26 paveiksle pateikiamas sonaro greičio pokytis. Iš grafiko matosi, kad apsisukimo metu sonaro greitis nuo standartinio 5,2 mazgų greičio nukrito iki mažiau nei 3 mazgų, tai didesnis greičio sumažėjimas, nei numatė simuliacijos. 25 paveiksle pavaizduotas sonaro gylis U formos apsisukimo metu. Iš pateiktų grafikų matyti, kad sonaro gylis kinta nežymiai, didžiausias pokytis – 0,5 m. 27 ir 28 paveiksluose pateikiami laivo ir sonaro apsisukimų dinamikos grafikai. Iš grafikuose pateiktų duomenų aiškiai

matosi, kad laivas daug greičiau keičia kryptį ir pradeda plaukti pastovia trajektorija. Sonaras yra daug inertiškesnis. Sonaro posvyrio (angl. *pitch*) kampas apsisukimo metu kito nedaug, kitimo grafikas pateikiamas 29 paveiksle.

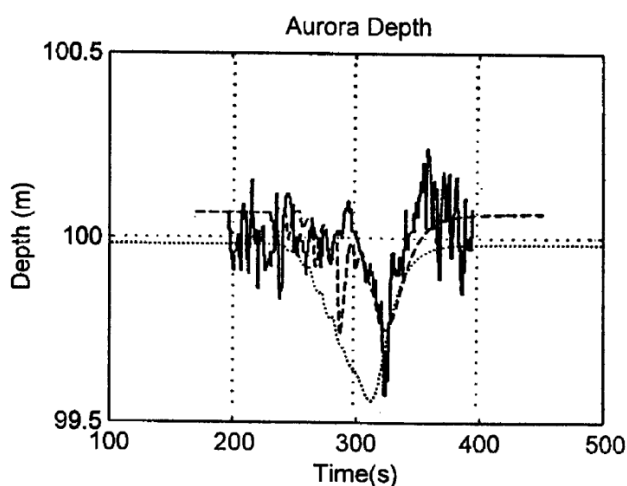
Siekiant išvengti su standartiniu U formos apsisukimu susijusių problemų, publikacijų autoriai apskaičiavo idealią trajektoriją, kuria plaukiant sonaras daug greičiau pradėtų tolygiai plaukti pastovia trajektorija. Apskaičiuota trajektorija pateikiama 30 paveiksle. Matome, kad sonaras pradeda plaukti tiesia trajektorija net 600 m anksčiau nei standartinio U formos apsisukimo metu. Tačiau plaukiant tokia trajektorija laivui reikia daug daugiau manevruoti. Siekiant supaprastinti manevrą sumodeliuota trečio tipo apsisukimo trajektorija, kuri prasideda lygiai taip pat kaip standartinis U formos apsisukimas, bet baigiasi kaip prieš tai aprašytas baliono formos apsisukimas. Toks apsisukimo būdas reikalauja mažiau manevravimo, o pasiekiamas rezultatas yra net geresnis, nes laivas gali ilgiau plaukti tiesiai prieš pradėdamas apsisukimo manevrą.



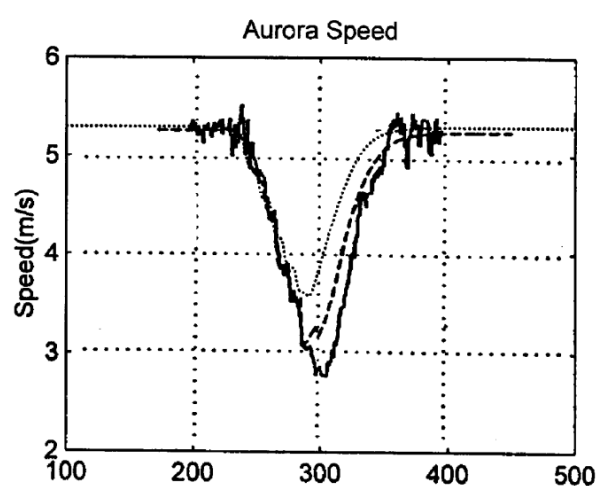
24 pav. U formos apsisukimo vaizdas iš viršaus (C. Lambert et al., 2003)



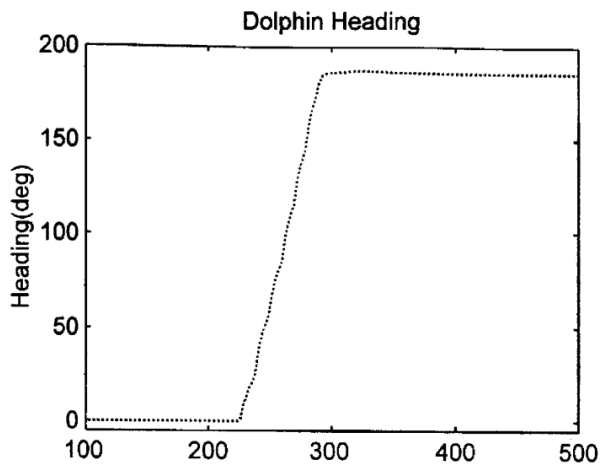
25 pav. Laivo greičio pokytis atliekant U formos apsisukimą (C. Lambert et al., 2003)



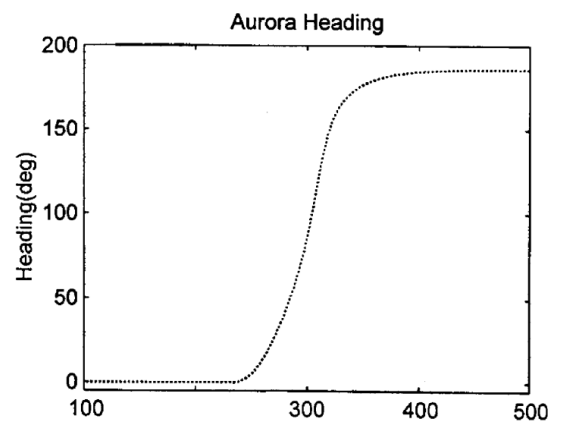
26 pav. Sonaro gylio pokytis atliekant U formos apsisukimą (C. Lambert et al., 2003)



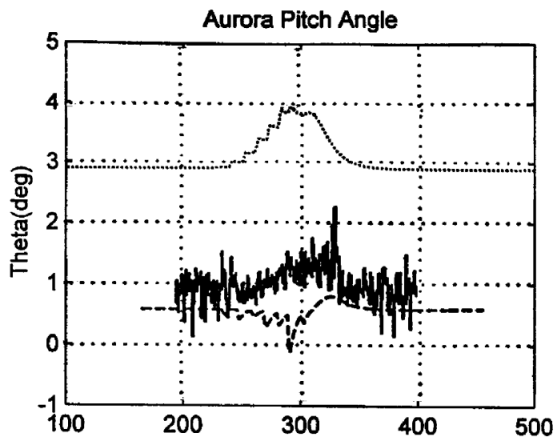
27 pav. Sonaro greičio pokytis atliekant U formos apsisukimą (C. Lambert et al., 2003)



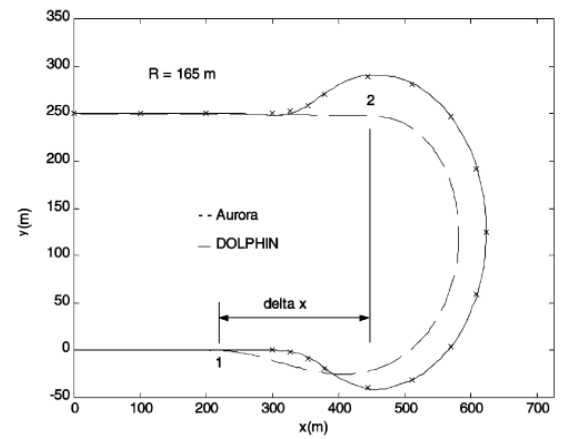
28 pav. Laivo apsisukimo dinamika atliekant U formos apsisukimą (C. Lambert et al., 2003)



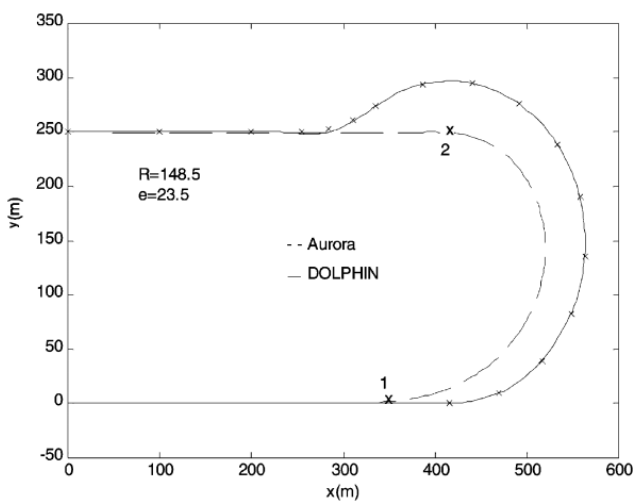
29 pav. Sonaro apsisukimo dinamika atliekant U formos apsisukimą (C. Lambert et al., 2003)



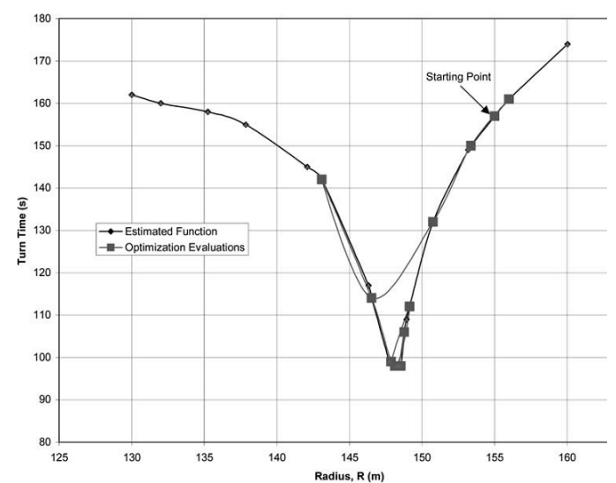
30 pav. Sonaro švytavimai atliekant U formos apsisukimą (C. Lambert et al., 2003)



31 pav. Baliono formos idealaus apsisukimo spindulio schema (C. Lambert et al., 2003)



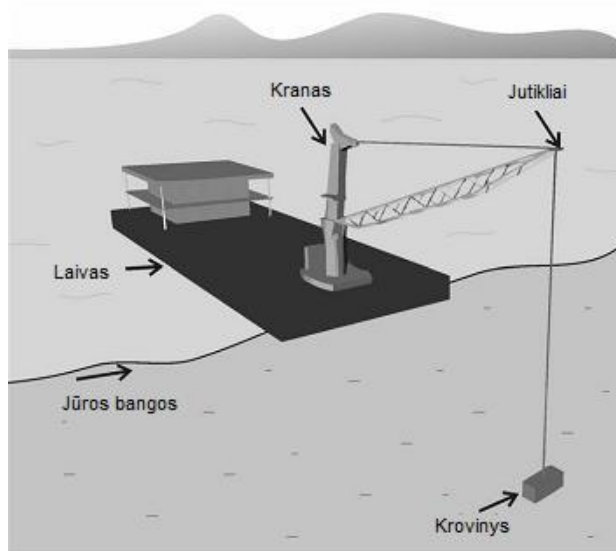
32 pav. Supaprastintos baliono formos apsisukimas (C. Lambert et al., 2003)



33 pav. Supaprastintos baliono formos (C. Lambert et al., 2003) apsisukimas

1.6. Mechaninė laivo judesio kompensavimo sistema

Publikacijose (Kuchler S. et al., 2010 ir Sawodny O. et al., 2010) apžvelgiamos įvairios atviroje jūroje su povandeniniais darbais susijusios problemos. Vienas iš svarbiausių straipsniuose akcentuojamų dalykų projektuojant įrenginius skirtus didelio tikslumo reikalaujančioms užduotims atlikti – sistemų dinaminis atskyrimas nuo laivo ar platformos, kur sistema yra įrengta. Autoriai prieš pradėdami laivo įrenginių stabilizavimą siūlo pirmiau išmatuoti laivo taško kuriame bus montuojami įrenginiai arba jau sumontuoto įrenginio svarbiausių taškų dinaminis parametrus. Publikuojamuose darbuose sprendžiami laivo, kuriame įrengtas didelės keliamosios galios kranas, skirtas didelio gylio ir tikslumo povandeniniams darbams atlikti, dinaminiai uždaviniai. Kuriamos sistemos užduotis – pasiekti kiek įmanoma geresnį jūros bangavimo sukeliama vertikalaus supimo kompensavimą kranu leidžiamiems kroviniams. Sistemos modelio bendrasis vaizdas pateikiamas 34 paveiksle.



34 pav. Sistemos bendrasis vaizdas (Sawodny O. et al., 2010)

Pagrindiniai sistemos parametrai pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Pagrindiniai laivo parametrai

Ilgis, m	Plotis, m	Gylis, m	Grimzlė, m	Bruto svoris, gt	Savasis svoris, dwt
207,4	29,8	16,4	10,1	25,406	33,847

Autoriai siūlo formulę (4) ant laivo korpuso sumontuoto krano galo vertikalaus judesio apskaičiavimui.

$$\varpi(t) = \sum_{i=1}^N \underbrace{A_i \sin(2\pi f_i t + \phi_i)}_{\varpi(t)} + v(t) \quad (4),$$

čia:

$\varpi(t)$ – ant laivo korpuso sumontuoto krano galo vertikalaus judesys;

A_i – bangų amplitudė;

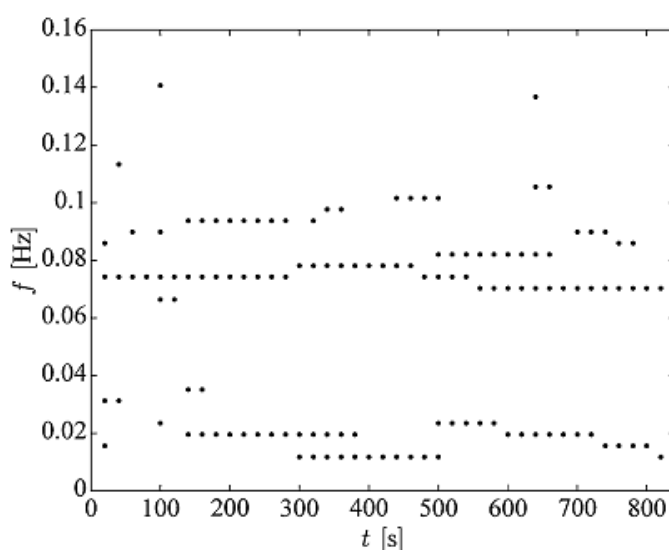
f_i – bangų dažnis;

ϕ_i – fazė;

$v(t)$ – papildomas kintamasis, pasiūlytas mokslininkų Fossen (Fossen T., 1994.) ir Floyd (Lloyd A. R. J. M., 1998).

A_i ir ϕ_i yra ne matuojami, o apskaičiuojami dydžiai.

Surinkta informacija apie tyrimo metu į laivą atsimušusias bangas, pateikiama 35 paveiksle. Matome, kad į laivą dažniausiai atsimušė 0,02 Hz ir 0,08 Hz bangos.



35 pav. Į laivą atsimušusių bangų statistika (Kuchler S. et al., 2010)

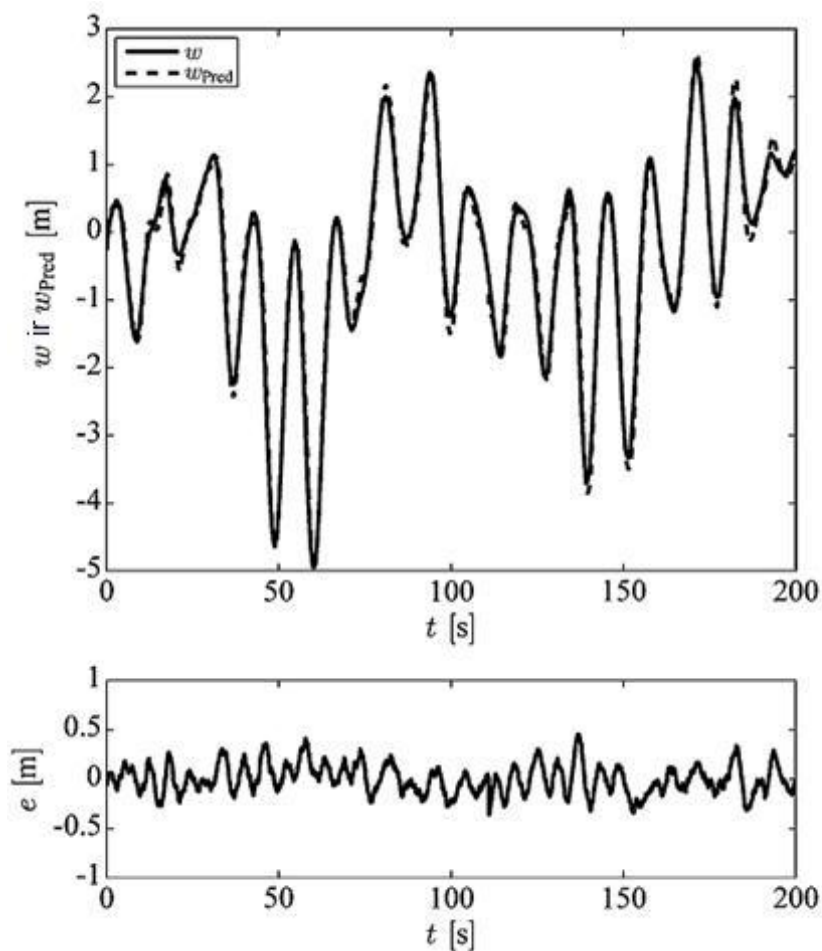
Vertikalaus supimo kompensavimo sistema bus montuojama masyvioje, su dideliais svoriais dirbančioje sistemoje. Stabilizavimui bus naudojama pneumatinė sistema. Tokią sistemą valdyti realiu laiku yra labai sudėtinga, todėl buvo sudarytas į laivą atsimušančių bangų nuspėjimo algoritmas, kad valdikliai valdantys vertikalų supimo kompensavimo sistemą, galėtų pradėti ruoštis atoveiksmiui, veiksmui dar neprasidėjus.

Sukurto bangavimo nuspėjimo algoritmo testavimo rezultatai grafikų pavidalu pateikiami 36 paveiksle. Viršutiniame grafike pateikiamos nuspėtos judesio reikšmės (punktyrinė linija) ir išmatuotos reikšmės (ištinė linija). Ordinačių ašyje pavaizduotas vertikalios laivo padėties pokytis laiko (abscisių ašis) atžvilgiu.

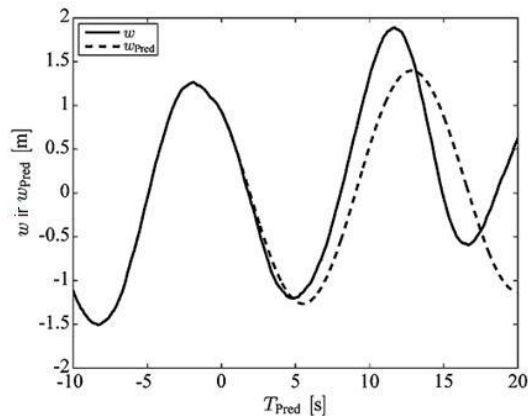
Apatinėje diagramoje pavaizduoti skirtumai tarp nuspėtų ir realių vertikalaus supimo reikšmių. Kaip matome, sistema gan tiksliai nuspėja bangavimą ir šią sistemą įgyvendinus iš nestabilizuoto laivo 5–is metrus siekiančio vertikalaus supimo, stabilizavimo sistema keliamam kroviniui perduotų

vos 0,45 m siekiančius judesius. Tai yra iki dešimties kartų mažesnė krovinio vertikalaus supimo eiga nei nestabilizuotoje sistemoje.

Anksčiau eksperimente naudotas bangų nuspėjimo algoritmas apskaičiuodavo tik kaip banga elgsis praėjus 1 s nuo esamo laiko. Sekančiu vykdytu eksperimentu buvo bandoma ar sukurtas algoritmas gali nuspėti bangų elgesį ilgesniam laikotarpiui. Bandymo rezultatai pateikiami 37 paveiksle. Grafiškai pavaizduotos nuspėtos judesio reikšmės (punktyrinė linija) ir išmatuotos reikšmės (ištiesinė linija). Ordinačių ašyje pavaizduotas vertikaliuos laivo padėties pokytis laiko (abscisių ašis) atžvilgiu. Bangavimo nuspėjimo algoritmas savo spėjimą apskaičiavo laikui $T=0$ s. Pirmąsias 4 s algoritmas gan tiksliai nuspėjo laivo leidimąsi žemyn. Bangų elgesio tendencijos apytiksliai buvo nuspėtos 12 s. Po to realios bangos gan stipriai pradeda nebesutapti su nuspėtosiomis bangomis. Galima teigti, kad bangų nuspėjimas 4–12 s į priekį yra gana realus ir tikslus. Sistemai tinkamai valdyti reikia tiksliai nuspėti bangų elgesį iki 2 sekundžių į priekį, todėl bangų nuspėjimo algoritmo tikslumo pakanka geram stabilizavimo sistemos funkcionavimui.

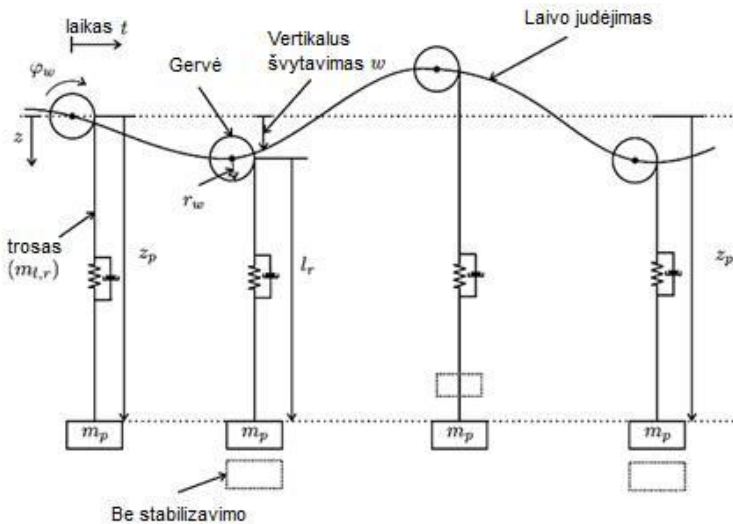


36 pav. Stabilizavimo sistemai sukurto bangų nuspėjimo algoritmo efektyvumas (Kuchler S. et al., 2010)



37 pav. Ilgalaikis bangų nuspėjimas (Kuchler S. et al., 2010)

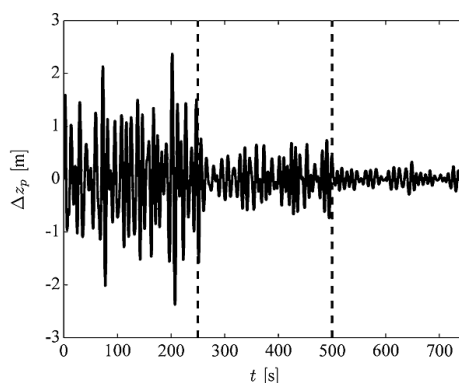
Eksperimentų metu naudotos sistemos supaprastintas modelis pateikiamas 38 paveiksle. Sistemoje yra atsižvelgiama į krovinio kėlimui naudojamo trosų tamprumą, ir jo ilgis l_r yra kintantis, priklausomai nuo įtempimo jėgų. Laikoma, kad trosų ir krovinio judesiai turi nykstamai mažą įtaką laivo stabilumui, nes jų masė yra labai maža palyginus su laivo bendrąja mase. Ištinine linija pavaizduota krovinio padėtis kai stabilizavimo sistema įjungta, punktyrine – kai stabilizavimo sistema neaktyvi. Sistemos vaizdas pateiktas ne pagal mastelį, abscisių ašyje pateikiamas laikas.



38 pav. Sistemos veikimo schema (Sawodny O. et al., 2010)

39 paveiksle pateiktoje diagramoje vaizduojami simuliacijos rezultatai. Simuliacijai naudoti bangavimo duomenys yra eksperimento metu nuskaityti laivo judesiai, kurių amplitudė yra 4,5 m. Pirmosios 250 s simuliuojamos bangos nebuvo apdorotos jokiais skaičiavimais. 250 s – 500 s buvo aktyvuota bangavimo sukulto vertikalus švytavimo slopinimo sistema. 500 s – 750 s buvo aktyvuota bangavimo sukulto vertikalus švytavimo slopinimo sistema su bangų elgesio nuspėjimo sistema. Matome, kad bangavimo sukulto vertikalus supimo slopinimo sistema krovinio vertikalus supimo amplitudę sumažino iki 1,5 m, tai reiškia jog sistema tris kartus sumažino krovinio svyravimus. Bangavimo sukulto vertikalus švytavimo slopinimo sistema, su bangų

elgesio nuspėjimu, krovinio vertikalios supimo amplitudę sumažino iki 0,5 m arba beveik 10 kartų lyginant su standartine sistema.



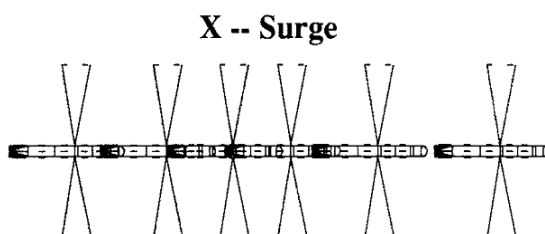
39 pav. Krovinio slopinimo sistemų efektyvumo palyginimas (Kuchler S. et al., 2010)

1.6.1 Sonaro trikdžių tipai

Tolygiai tempiamas sonaras plaukia itin stabiliai. Baltijos jūroje nėra povandeninių srovių, kurios galėtų įtakoti sonaro tolygų judėjimą, todėl visi sonaro judėjimo trikdžiai atsiranda dėl netolygaus sonarą tempiančio laivo judėjimo.

Darbe „Motion minimization of AUVs for improved imaging sensor performance beneath a seaway“ (Ronald S. Peterson ir kt., 1994) aprašomi 6 pagrindiniai nepageidaujamų sonaro judesių tipai.

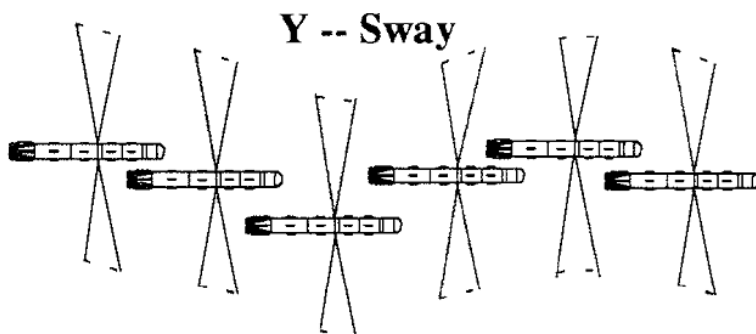
Pirmasis trikdžių tipas – nepastovus sonaro greitis (angl. surge). Sonaras plaukia tiesiai, tačiau su teigimu arba neigiamu pagreičiu. Šio tipo trikdžių pasekmės – atsirandantys tarpai arba suspaustos vietos sonaru išgautuose vaizduose. Šio tipo trikdžiai dažniausiai pasitaiko laivui manevruojant. Grafinis vaizdas pateikiamas 40 paveiksle. Pavaizduota sonaro tempimo kryptis iš kairės į dešinę. Matome, kad paskutiniame kadre sonaras pajudėjo daugiau nei ankstesniuose kadruose. Tai reiškia kad sonaras pagreitėjo.



40 pav. Kintantis sonaro tempimo greitis (Peterson R. S. et al., 1994)

Antrasis trikdžių tipas – sonaro supimasis gulsčiai (angl. sway). Sonaras plaukdamas supasi į šonus. 41 paveiksle parodytas sonaro judėjimas iš viršaus. Matome, kad sonaras plaukia ne tiesia linija, bet yra nešiojamas į šonus. Sonaro plaukimo kryptis iš kairės į dešinę. Šio tipo supimasis dažniausiai sukelia nedidelio dažnio sonaro svyravimą, sonaru išgauti vaizdai šiek tiek banguoja į

šonus, tačiau nėra labai iškraipomi. 42 paveiksle matome, kad dėl sonaro trukdžių yra sunku palaikyti jo trajektoriją ir skirtingų praplaukimų metu surinktuose vaizduose atsiranda tarpų, tuo pačiu kitoje skenuojamo vaizdo pusėje, skirtingų praplaukimų metu surinkti vaizdai persidengia.

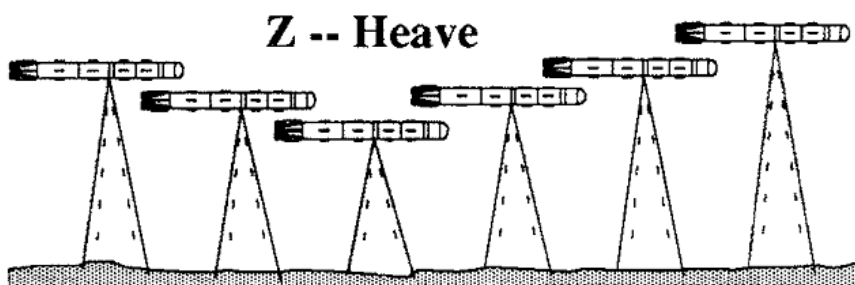


41 pav. Sonaro supimasis gulsčiai (Peterson R. S. et al., 1994)

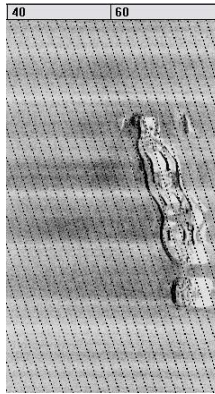


42 pav. Vaizdų persidengimai ir tarpai (Peterson R. S. et al., 1994)

Trečiasis trikdžių tipas – sonaro vertikalus supimas (angl. heave). Sonaras tempiamas į viršų ir paskui leidžiasi žemyn. Tai dažnai pasitaikantis trikdžių tipas. Jį sukelia laivas plaukiantis per dideles bangas. 43 Paveiksle grafiškai pavaizduotas šio tipo trikdžių veikiamo sonaro judėjimas. Matome kad sonaro aukštis kiekviename kadre vis kitoks. Taip judančiu sonaru užfiksuoti vaizdai yra išstampomi, matosi bangos, ypač, jei vaizduose yra didelių objektų. 44 paveiksle matome kaip atrodo tokio judesio iškraipytas laivo vaizdas. 43 Paveiksle sonaras pavaizduotas iš šono, paveikslo apačioje – jūros dugnas. Sonaras tempiamas iš kairės į dešinę.

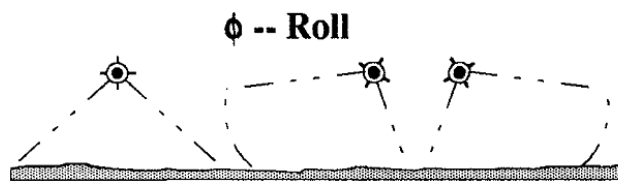


43 pav. Sonaro vertikalus supimas (Peterson R. S. et al., 1994)



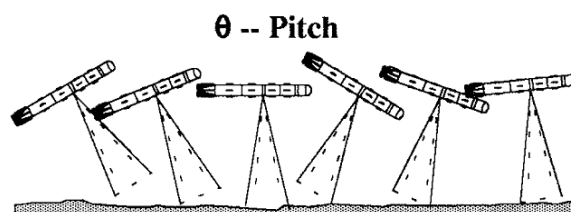
44 pav. Iškraipytas nuskendusio laivo vaizdas (BPATPI duomenų fondai)

Ketvirtasis trikdžių tipas – sonaro vertimasis apie išilginę ašį (angl. roll). Tai dažnas sonaro trikdys, jis sukeliamas nuo laivo, plaukiančio per daug nedidelių bangų, tampymo, taip pat laivui apsisukant mažu spinduliu. Kartais sonaras gali net visai apsisiversti. 45 paveiksle grafiškai pavaizduotas sonaro judėjimo vaizdas. Paveikslo apačioje – jūros dugnas. Sonaru gaunamų vaizdų iškreipymai panašūs į sonaro supamo gulsčiai. Tik vaizdo „banguotumas“ daug didesnis, todėl prarandama daug daugiau svarbių vaizdo detalių.



45 pav. Sonaro vertimasis (Peterson R. S. et al., 1994)

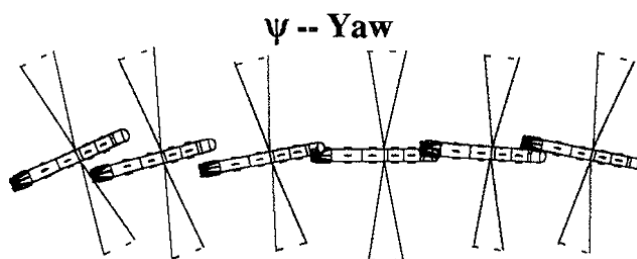
Penktasis trikdžių tipas – sonaro švytavimas skersine ašimi (angl. pitch). Šio tipo trikdžiai atsiranda tada, kai laivo tempiamas į viršų sonaras kyla netolygiai. Tokio švytavimo sukeltus vaizdo trikdžius yra labai sunku ištaisyti, nes persidengia tuo pačiu praplaukimu gauti vaizdai. 46 paveiksle pateiktame pavyzdyje matome kad sonarui švytuojant skersine ašimi skenuojamas vaizdas gali labai neprognozuojamai persidengti. Net kelių laipsnių posvyris duoda labai didelę paklaidą, nes sonaras tempiamas 5–20 m virš dugno.



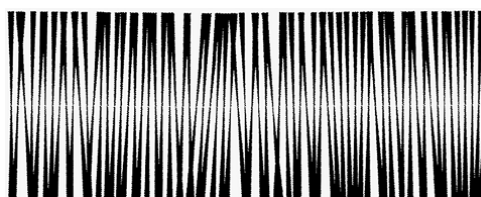
46 pav. Sonaro švytavimas skersine ašimi (Peterson R. S. et al., 1994)

Šeštasis nepageidaujimų sonaro judesių tipas – sonaro vingiavimas. Šio tipo trikdžiai dažniausiai atsiranda kai sonarą tempiantis laivas daro posūkį. 47 paveiksle pateikimas sonaro

vaizdas iš viršaus. Matome kad sonaras pastoviai keičia kryptį. Taip judančio sonaro siunčiamų signalų vaizdas pateikiamas 48 paveiksle.



47 pav. Sonaro vingiavimas (Peterson R. S. et al., 1994)



48 pav. Vingiuojančio sonaro akustinių signalų vizualizacija (Yet-Chung Changet et al., 2010)

1.7. Skyriaus išvados

Apžvelgus mokslinius tyrimus, matome, kad pasaulyje nuolat tiriamos darbų atviroje jūroje problemos, ieškoma naujų sprendimų joms spęsti. Nuolat didėjant žmonijai darosi vis didesnis poreikis išnaudoti jūras ir vandenynus. Didėjantis energetinių išteklių poreikis skatina tirti naujas naftotiekių ir dujotiekių tiesimo jūros dugnu, naftos platformų statybos ir eksploatacijos atviroje jūroje galimybes. Prieš atliekant povandeninius darbus būtina atlikti jūros dugno tyrimus ir žvalgybą. Norint gerai pasiruošti darbams jūroje, reikia sudaryti kuo tikslesnius jūros dugno žemėlapius. Šiam tikslui dažniausiai naudojami akustiniai prietaisai (BPATPI duomenų fondai). Pats populiariausias jūros dugnui tirti naudojamas prietaisas – šoninės apžvalgos sonaras. Naudojant šio tipo prietaisus itin svarbus jo plaukimo stabilumas, kurį labiausiai įtakoja sonarą tempiančio laivo stabilumas (BPATPI duomenų fondai).

Kasmet vis didėja saugaus krovinių gabenimo jūrų keliais poreikis. Ieškoma būdų kaip sukonstruoti kuo stabilesnius laivus, kad šie plaukdami neramia jūra nepaskęstų ir nepažeistų krovinio. Laivo stabilumas yra dar aktualesnis keleiviniams laivams. Lietuvos teritoriniai vandenys, ypač tie plotai kuriuose dažniausiai tenka žvalgyti, yra seklūs. Todėl tyrimams turi būti naudojamas nedidelis, manevringas laivas, turintis mažą grimzlę. Tokio laivo plaukimą yra labai sunku stabilizuoti, nes jo masė ir gabaritai yra nedideli. Esantys laivo stabilizavimo metodai naudojami pagerinti didelių laivų tolygiam plaukimui. Lietuvos teritoriniams vandenims tirti naudojami nedideli laivai, todėl negalima stabilizuoti (N. C. Townsend at al.,) aprašytu metodu.

(F. C. Teixeira et al., 2010 m). publikuotame straipsnyje aprašoma sonaro panardinimo į reikiamą gylį problema, kuri labai aktuali ir mokslininkams, tiriantiems Lietuvos teritorinius vandenius. Mokslininkų sukurtą metodą galima pritaikyti Baltijos jūros dugno tyrimams naudojamai sistemai tobulinti.

(S. Kuchler et al., 2011 m) ir (Sawodny O. et al., 2010) publikacijose sprendžiama laivo, naudojamo statyboms atviroje jūroje nestabilumo problema. Laive įrengtas kranas, skirtas tiksliai nuleisti krovinį ant jūros dugno. Siūbuojant laivui šią užduotį įgyvendinti labai sunku, todėl buvo sukurta krovinio stabilizavimo sistema, kuri fiksuoja laivo judesį ir automatiškai generuoja atoveiksmį. Sistema veikia efektyviai, į jūros dugną leidžiamų krovinių siūbavimas ženkliai sumažinamas. Panašiu principu veikiančią sistemą galima pritaikyti ir Baltijos jūros dugnui tirti skirtam sonarui.

Sonarų išgaunamus vaizdus galima pagerinti ir programinėmis priemonėmis. (Yet-Chung Chang et al., 2010) publikuotame straipsnyje aprašomi metodai, pagerinantys šoninės apžvalgos sonarais išgautus vaizdus. Šiuos metodus taip pat galima pritaikyti Lietuvos teritoriniams vandenims tirti naudojamiems sonarams.

Mažiausiai investicijų reikalaujantys metodai, kurie pagerina šoninės apžvalgos sonarų atliekamų tyrimus, aprašyti (C. Lambert et al., 2002) publikacijose. Jose buvo tiriama laivo ir jo tempiamo sonaro dinamika apsisukimo metu. Sukurti metodai nereikalauja jokių investicijų. Naudojant šiuos metodus pasiekiami rezultatai – greitesnis apsisukimas, sukeliantis mažiau sonarų išgaunamų vaizdų iškreipimų.

2. MATEMATINIS MODELIS

Prieš tobulinant sonaro sistemą būtina jai sudaryti reikalavimų – kintamųjų specifikaciją. Labiausiai sistemą įtakojantis veiksnys – jūros bangavimas (Čerka J., 2009).

Sonarą veikiančios jėgos:

$$\sum F_x = T \sin \alpha - ma = 0 \quad (5),$$

$$\sum F_y = T \cos \alpha - mg = 0 \quad (6),$$

$$tg \alpha = \frac{\vec{a}}{g} \quad (7),$$

čia:

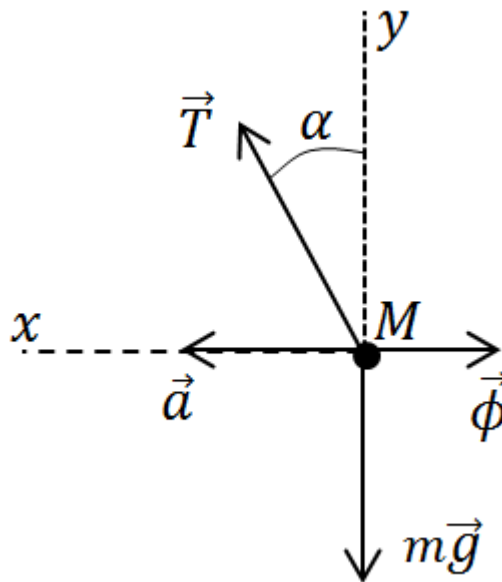
F_x – jėgos veikiančios x ašimi;

F_y – jėgos veikiančios y ašimi;

T – sonaro traukimo jėga;

\vec{a} – sonaro pagreitis;

α – kampas tarp vertikalės ir traukimo krypties;



49 pav. Sonarą veikiančios jėgos

Laivo judėjimas supimosi metu bendruoju atveju gali būti nusakytas šešių diferencialinių lygčių sistema. Trimis lygtimis nusakomas tiesiaeigis laivo svorio centro judesys išilgai ašių $O\xi$, $O\eta$ ir $O\zeta$:

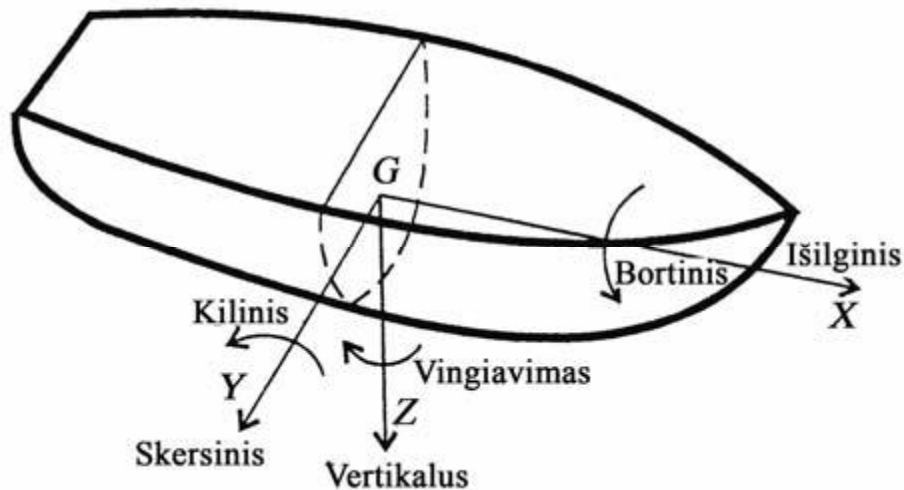
$$\begin{cases} M \frac{d^2 \xi_g}{dt^2} = \sum Q_\xi; \\ M \frac{d^2 \eta_g}{dt^2} = \sum Q_\eta; \\ M \frac{d^2 \zeta_g}{dt^2} = \sum Q_\zeta, \end{cases} (8),$$

čia:

$M = \Delta / \rho g$ – besisupančio laivo masė;

ξ_g, η_g, ζ_g – laivo svorio centro G poslinkiai atitinkamai išilgai Q_ξ, Q_η ir Q_ζ ašių;

$\sum Q_\xi, \sum Q_\eta, \sum Q_\zeta$ – laivą veikiančių jėgų projekcijų sumos.



50 pav. Laivo svyravimų ašys (Čerka J., 2009)

Kitos trys lygtys nusako laivo (arba judančios koordinačių sistemos) pasisukimus apie ašis GX, GY ir GZ :

$$\begin{cases} I_{xx} \frac{d^2 \theta_g}{dt^2} = \sum M_x; \\ I_{yy} \frac{d^2 \Psi_g}{dt^2} = \sum M_y; \\ I_{zz} \frac{d^2 v_g}{dt^2} = \sum M_z, \end{cases} (9),$$

Čia I_{xx}, I_{zz}, I_{yy} – laivo masės inercijos momentai ašių GX, GY ir GZ atžvilgiu

$$I_{xx} = \int_M (z^2 + y^2) dm \approx \sum_i m_i (z_i^2 + y_i^2) (10),$$

$$I_{zz} = \int_M (z^2 + x^2) dm \approx \sum_i m_i (z_i^2 + x_i^2) (11),$$

$$I_{yy} = \int_M (x^2 + y^2) dm \approx \sum_i m_i (x_i^2 + y_i^2) (12),$$

θ, Ψ, v – laivo kampiniai pasisukimai apie GX, GY ir GZ ašis, kitaip tariant, tai momentiniai kreno, diferento ir vingiavimo kampai;

$\sum M_x, \sum M_y, \sum M_z$ – išorinių jėgų, veikiančių laivą, momentų sumos;

m_i – elementari laivo masė;

x_i, y_i, z_i – šios masės centro koordinatės.

Paskutinės trys lygtys sudarytos darant prielaidą, kad laivo svyravimai yra gana maži ir kampinių greičių sandaugos, kaip gana mažos, atmetamos. Taigi pagrindinių supimosi tipų diferencialinės lygtys bus:

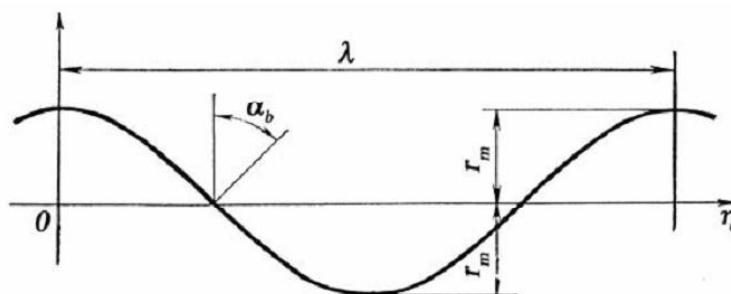
$$\begin{cases} M \frac{d^2\zeta}{dt^2} = \sum Q_{\zeta}; \\ I_{xx} \frac{d^2\theta}{dt^2} = \sum M_x; \\ I_{yy} \frac{d^2\Psi}{dt^2} = \sum M_y, \end{cases} \quad (13),$$

Jūros bangavimas – tai jūros vandens viršutinio sluoksnio judėjimas, kurį sukelia vėjas. Vėjas sukelia įvairaus ilgio ir aukščio bangas. Vėjui nurimus, trumposios bangos greitai mažėja, o ilgosios, kurios turi daug kinetinės energijos, pereina į lungės būseną. (Stonkus V., 2006 m., p. 155-165).

Lungė – tai jūros bangavimas vėjui aprimus.

Jūros bangavimas gali būti reguliarus, kai bangos yra vienodų: ilgio, trukmės, aukščio, amplitudžių; taip pat yra nereguliarus bangavimas, kai viena paskui kitą sekančios bangos yra skirtingų parametru (aukščiai, ilgiai, dažniai, periodai ir t. t.).

Pagrindiniai bangų parametrai pateikti 51 paveiksle.



51 pav. Bangos pagrindiniai parametrai (Stonkus V., 2006 m., p. 155)

Pagrindiniai bangos parametrai:

λ – bangos ilgis, tai atstumas tarp dviejų gretimų bangų viršūnių arba apačių, m;

h_b – bangos aukštis, tai atstumas (vertikaliai) tarp bangos viršaus ir apačios, m;

α_b – bangos nuolydžio kampas, tai kampas tarp horizontalės ir bangos šono liestinės;

τ – bangos periodas, tai laikas, per kurį banga praeina atstumą, lygų jos ilgiui, s;

δ_b – bangos dažnis, tai bangų skaičius per 2π (s) laiko tarpą;

c_v – bangos greitis, atstumas, kurį banga įveikia per vieną sekundę, m/s;

h_b/λ – bangos nuolydžio staigumas, tai bangos aukščio h_b ir ilgio λ santykis;

Bangos aukščio ir ilgio priklausomybė apskaičiuota remiantis Baltijos jūros bangavimo statistiniais duomenimis. Praktiškai bangavimo parametrai skaičiuojami empirine Cimermano formule, remiantis statistiniais duomenimis. (Stonkus V., 2006 m., p. 155-165)

Bangos aukštis:

$$h_b = 0,17\lambda^{3/4}, (14)$$

Bangos dažnis:

$$\delta_b = \frac{2\pi c}{\lambda} = \frac{2\pi}{\tau} = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda}} g \approx \frac{7,85}{\sqrt{\lambda}}, (15)$$

Bangos periodas:

$$\tau = \sqrt{\frac{2\pi}{g}} \lambda \approx 0,8\sqrt{\lambda}, (16)$$

Bangos greitis:

$$c = \frac{\lambda}{\tau} \approx 1,25\sqrt{\lambda}, (17)$$

Bangos nuolydžio kampas:

$$\alpha_b = \frac{\pi h_b}{\lambda}, (18)$$

3 lentelė. Jūros bangavimo skalė

Bangavimas, balais	Jūros bangavimas	Bangos aukštis, m
0	Nėra bangavimo	0
1	Silpnas	0 : 0,25
2	Silpnas	0,25 : 0,75
3	Vidutinis	0,75 : 1,25
4	Vidutinis	1,25 : 2,0
5	Stiprus	2,0 : 3,5
6	Stiprus	3,5 : 6,0
7	Labai stiprus	6,0 : 8,5
8	Labai stiprus	8,5 : 11,0
9	Ypač stiprus	Daugiau nei 11,0

Baltijos jūroje, kai bangavimo intensyvumas yra palankus jūros dugno tyrimams dažniausiai pasitaiko 6 – 10 m ilgio bangos. BPATPI ekspedicijose naudojami laivai gali palaikyti tolygų plaukimo greitį ir trajektoriją, kai bangų aukštis yra iki 1,5 – 2 m. Pagal 5 lentelėje pateikiamus jūros bangavimo parametrus, BPATPI gali vykdyti ekspediciją kai jūros bangavimas yra 0, 1, 2, 3 arba 4 balai. Tačiau, naudojant turimą įrangą, jūros dugnas kokybiškai tiriamas tik esant silpnam bangavimui (iki 0,75 m).

2.1. Jūros bangavimo ir laivo svyravimų apskaičiavimas

Skaičiavimus atliksime naudodami dažniausiai Baltijos jūroje pasitaikančių bangų ilgių kraštines reikšmes - 6 m ir 10 m. $\lambda_1 = 6 \text{ m}$, $\lambda_2 = 10 \text{ m}$.

Naudojant (14) formulę apskaičiuojame teorinius dažniausiai pasitaikančių bangų aukščius h_b .

Kai bangos ilgis 6 m:

$$h_{b1} = 0,17\lambda_1^{3/4} = 0,17 \cdot 6^{3/4} = 0,65 \text{ m.}$$

Kai bangos ilgis 10 m:

$$h_{b2} = 0,17\lambda_2^{3/4} = 0,17 \cdot 10^{3/4} = 0,96 \text{ m}$$

Iš (14) formulės išreiškiame bangos ilgį, kai žinomas bangos aukštis.

$$\lambda = \left(\frac{h_b}{0,17} \right)^{4/3}$$

Naudodami šią lygtį galime apskaičiuoti statistinės bangos parametrus, kai jos aukštis

$$h_b = 2 \text{ m.}$$

$$\lambda_{max} = \left(\frac{2}{0,17} \right)^{4/3} = 26,76 \text{ m}$$

Naudojant (14) formulę apskaičiuojame teorinius bangų dažnius δ_b .

Kai bangos ilgis 6 m:

$$\delta_{b1} = \frac{2\pi c_1}{\lambda_1} = \frac{2\pi}{\tau_1} = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda_1} g} = \sqrt{\frac{2\pi}{6} g} = 3,20$$

Kai bangos ilgis 10 m:

$$\delta_{b2} = \frac{2\pi c_2}{\lambda_2} = \frac{2\pi}{\tau_2} = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda_2} g} = \sqrt{\frac{2\pi}{10} g} = 2,48$$

Naudojant (16) formulę apskaičiuojame bangų periodus τ .

Kai bangos ilgis 6 m:

$$\tau_1 = \sqrt{\frac{2\pi}{g} \lambda_1} \approx 0,8\sqrt{6} = 1,96 \text{ s}$$

Kai bangos ilgis 10 m:

$$\tau_2 = \sqrt{\frac{2\pi}{g} \lambda_2} \approx 0,8\sqrt{10} = 2,53 \text{ s}$$

Kai bangos ilgis 26,76 m:

$$\tau_{max} = \sqrt{\frac{2\pi}{g} \lambda_{max}} \approx 0,8\sqrt{26,76} = 4,14 \text{ s}$$

Naudojant (17) formulę apskaičiuojame bangų greičius.

Kai bangos ilgis 6 m:

$$c_1 = \frac{\lambda_1}{\tau_1} = \frac{6}{1,96} = 3,06 \text{ m/s}$$

Kai bangos ilgis 10 m:

$$c_2 = \frac{\lambda_2}{\tau_2} = \frac{10}{2,53} = 3,95 \text{ m/s}$$

Naudojant (18) formulę apskaičiuojame bangų nuolydžių kampus.

Kai bangos ilgis 6 m:

$$\alpha_{b1} = \frac{\pi h_{b1}}{\lambda_1} = 1,67^\circ$$

Kai bangos ilgis 10 m:

$$\alpha_{b2} = \frac{\pi h_{b2}}{\lambda_2} = 0,30^\circ$$

Kai bangos ilgis 26,76 m:

$$\alpha_{max} = \frac{\pi h_{max}}{\lambda_{max}} = 0,23^\circ$$

Remiantis apskaičiuotais bangų parametrais naudojant (19) formulę apskaičiuojama laivo svyravimo amplitudė esant reguliariam bangavimui.

Reguliarusis bangavimas – tai bangavimas, kai visos bangos yra vienodos. Pasitelkiant (laivo teorija, 155p) pateikiamus duomenis, BPATPI naudojamo laivo vidutinis bortinio svyravimo periodas T_θ yra lygus 5 s.

$$\theta_{maks} = \alpha_b \frac{1}{1 - \frac{T_\theta^2}{\tau}}, \quad (19)$$

Skaiciuojame laivo svyravimo periodą, kai bangų ilgis $\lambda_1 = 6 \text{ m}$:

$$\theta_{maks1} = \alpha_b \frac{1}{1 - \frac{T_\theta^2}{\tau}} = 1,67 \frac{1}{1 - \frac{25}{1,96}} = -0,14^\circ$$

Kai bangų ilgis $\lambda_2 = 10 \text{ m}$:

$$\theta_{maks2} = \alpha_b \frac{1}{1 - \frac{T_\theta^2}{\tau}} = 0,30 \frac{1}{1 - \frac{25}{2,53}} = -0,014^\circ$$

Kai bangų ilgis $\lambda_{max} = 26,76 \text{ m}$:

$$\theta_{maks3} = \alpha_b \frac{1}{1 - \frac{T_\theta^2}{\tau}} = 0,23 \frac{1}{1 - \frac{25}{4,14}} = -0,046^\circ$$

Remiantis laivo teorija, kai laivo svyravimo periodo reikšmė yra artima arba sutampa su į laivą atsimušančių bangų periodu ($\frac{T_\theta}{\tau} \approx 1$), laivas gali apsiversti dėl rezonanso.

Kai BPATPI naudojamas laivas plaukia per 6 m ilgio bangas, $\frac{T_\theta}{\tau} = 2,55$.

Kai bangos ilgis $\lambda_2 = 10 \text{ m}$, $\frac{T_\theta}{\tau} = 1,98$. Kai bangos ilgis $\lambda_{max} = 26,76 \text{ m}$, $\frac{T_\theta}{\tau} = 1,2$.

Kaip matome, laivu plaukti per 2 m aukščio bangas yra pavojinga, dėl rezonanso pavojaus. Laivą tampa sunku valdyti, kyla laivo apsvertimo pavojus. Rezonanso pavojus iškyla anksčiau nei pradeda sutapti pagal statistinius duomenis apskaičiuotos bangos, nes realių bangų parametrai gali skirtis nuo statistinių.

Apskaičiuojame rezonansą sukeliančių bangų parametrus. Rezonansą sukelia bangos, kurių periodas τ sutampa su laivo svyravimo periodu T_θ . Iš (16) formulės išvedame, kad $\lambda = \left(\frac{\tau}{0,8}\right)^2$, gauname, kad rezonansas tarp statistinių bangų ir BPATPI naudojamo laivo susidaro, kai jūros bangos ilgis $\lambda = 39,06 \text{ m}$. Pagal bangos ilgį, naudojant (14) formulę paskaičiuojame tokios bangos aukštį, kuris yra $h_b = 2,66 \text{ m}$. Tai yra kritinis bangų dydis šiam laivui.

2.2. Variklio parametrų parinkimas bangavimo kompensavimo sistemai

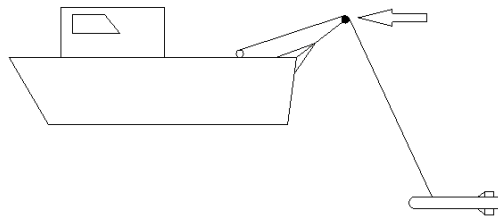
Norint apskaičiuoti variklio parametrus užtikrinančius sonaro sistemos svyravimų minimizavimą, reikia nustatyti pradines sąlygas.:

Sistemos svyravimai vyksta pagal kosinuso dėsnį.

Svyravimų periodas – 4,14 s.

Bangos aukštis – 2 m.

Skaičiuojame teorines maksimalaus greičio reikšmes. Remiantis ilgamečiais BPATPI stebėjimais, maksimalus bangų aukštis, kuriomis plaukdamas tyrimams naudojamas laivas gali palaikyti pastovų plaukimo greitį ir trajektoriją, yra 2 m. Pasirinktas atskaitos taškas (Kuchler S. et al., 2010) pažymėtas rodykle 52 paveiksle.



52 pav. Pasirinktas atskaitos taškas (autoriaus pav.)

Apskaičiuojame koks yra atskaitos taško vertikalios (Z ašimi) judėjimo maksimalus greitis.

Skaičiavimuose laikome kad laivas tolygiai juda statmenai bangų judėjimo kryptiai. Laivo svyravimas vertikalia ašimi sutampa su bangų svyravimu Z ašimi. Į kylinį ir bordinį svyravimą nekreipiame dėmesio. (Vaičiulis D., 2011)

Supaprastinta bangos judėjimo lygtis vertikalia kryptimi:

$$Z_b = r_0 \cos \frac{2\pi t}{\tau}, \quad (20)$$

Tada greičio vertikalioji kryptimi lygtis:

$$v_z = -\frac{2\pi}{\tau} r_0 \sin \frac{2\pi t}{\tau}, \quad (21)$$

Spindulys r_0 yra lygus pusei bangos aukščio.

$$r_0 = \frac{h_b}{2} = 1 \text{ m}, \quad (22)$$

Tada

$$v_{max} = \left| \frac{2\pi}{\tau} r_0 \right| = \left| \frac{2\pi}{4,14} 1 \right| = 1,52 \text{ m/s}, \quad (23)$$

Dėl galimų tikrų bangų nesutapimų su bangomis, kurios aprašomos judėjimo lygtimi, naudosime maksimalų greitį $v_{max} = 2 \text{ m/s}$

Skaičiavimuose naudojame 90 kg sonaro sistemos masę, kurią sudaro sonaras, 50 kg stabilizuojantis svoris ir jungiamieji trosai ir kabeliai.

Apskaičiuojame būgno, ant kurio vyniojamas trosas, maksimalų kampinį greitį ω :

$$\omega = \frac{v}{r_b} = \frac{2}{0,15} = 13,33 \frac{1}{s}, \quad (24)$$

Apskaičiuojame maksimalius būgno apsisukimus per min.:

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = 127,36 \text{ aps/min}, \quad (25)$$

Krovinio inercijos momentas:

$$J_m = m \left(\frac{v^2}{\omega^2} \right) = 90 \left(\frac{2^2}{13,33^2} \right) = 2,02 \text{ kgm}^2, \quad (26)$$

Redukcijos koeficientas:

$$i = \frac{n_{var}}{n_{sis}} = \frac{2400}{127,36} \approx 20, \quad (27)$$

Svoriui pakelti reikalingas sukimo momentas:

$$M_s = mgr = 90 \cdot 9,81 \cdot 0,15 = 132,44 \text{ Nm}, \quad (28)$$

Variklio kampinis greitis:

$$\omega_{var} = \frac{n_{var}\pi}{30} = \frac{2400\pi}{30} = 251,2 \frac{\text{rad}}{s}, \quad (29)$$

Laikas Δt , per kurį variklis pasiekia maksimalų greitį:

$$\Delta t = 0,5 \text{ s}$$

Priimame, kad variklio inercijos momentas lygus redukuotam krovinio inercijos momentui:

$$J_{variklio} \approx \frac{J_m}{i^2} = \frac{2,02}{20^2} = 0,005 \text{ kgm}^2, \quad (30)$$

Bendras inercijos momentas variklio velenui:

$$J = J_v + \frac{J_m}{i^2} = 0,005 + \frac{2,02}{400} \approx 0,01 \text{ kgm}^2, \quad (31)$$

Pasipriešinimo momentas variklio ašiai:

$$M_{sv} = \frac{M_s}{i\eta} = \frac{132,44}{20 \cdot 0,95} = 6,97 \text{ Nm}, \quad (32)$$

Variklio paleidimui reikalingas momentas:

$$M = M_{sv} + J \frac{\omega_{var}}{\Delta t} = 6,97 + 0,01 \frac{251,2}{0,5} = 11,99 \text{ Nm}, (33)$$

Variklio galia:

$$P = \omega_{var} M = 251,2 \cdot 11,99 = 3011,88 \text{ w}, (34)$$

Varikliui pritaikome atsargos koeficientą 1,25.

$$P_R = P \cdot 1,25 \approx 4000 \text{ w}, (35)$$

Gauname variklio parametrus:

Galia $P=4000 \text{ w}$

Maksimalios apsukos 2400 aps/min

Reduktoriaus lėtinimo koeficientas 1:20

3. SONARŲ TYRIMO METODOLOGIJA

3.1. Nacionalinių tyrimų rezultatų teritoriniuose vandenyse apžvalga ir problematika

Lietuvos vandenų gylis yra iki 100 m (BPATPI duomenų fondai). Vandenyse yra nemažai nuskendusiu laivų, povandeninių laivų, konteinerių ir kitų didelių objektų, likusių po pasaulinių karų, bei atsiradusių dėl intensyvios laivybos (BPATPI duomenų fondai).

Šiuo metu tikslingiausia būtų pasirinkti plataus apžvalgos kampo, bei iki 70 m gylyje galinčio dirbti sonaro, kurio raiškos pakaktų aptikti didelius paskendusius objektus, bei sudaryti jūros dugno grunto žemėlapius. Tokiems uždaviniams atlikti labiausiai tinkamas sonarų tipas – šoninės apžvalgos sonarai. Jie yra tinkamiausi dėl didelio apžvalgos kampo. Naudojant tokio tipo sonaro sistemą, vienos ekspedicijos metu galima ištirti daug didesnę dugno plotą nei kitų tipų sonarais. Norint, kad sonaras aprėptų kuo didesnę plotą ir galėtų skenuoti gilesnes dugno vietas, reikia rinktis sąlyginai nedidelio darbinio dažnio sonarą. Tokiais sonarais išgaunami vaizdai yra mažesnės raiškos nei didelio dažnio sonarais, tačiau jų tiriamas apžvalgos plotas yra ženkliai didesnis. Taip pat didelio dažnio sonarai netinkami tirti dugno esančio giliau nei 10 m. Tokiais sonarais būtų neįmanoma tirti atviros jūros dugno esančio keliasdešimties metrų gylyje. Sonaro dažnio, skenuojamo atstumo ir raiškos priklausomybės pateiktos 54 paveiksle.

Šoninės apžvalgos sonarai dažniausiai naudojami dideliems jūros dugno plotams tirti, todėl jie yra tinkamiausi sudarant jūrų bei vandenynų dugno žemėlapius. Pagrindiniai reikalavimai sonaro sistemai pateikiami 3 lentelėje.

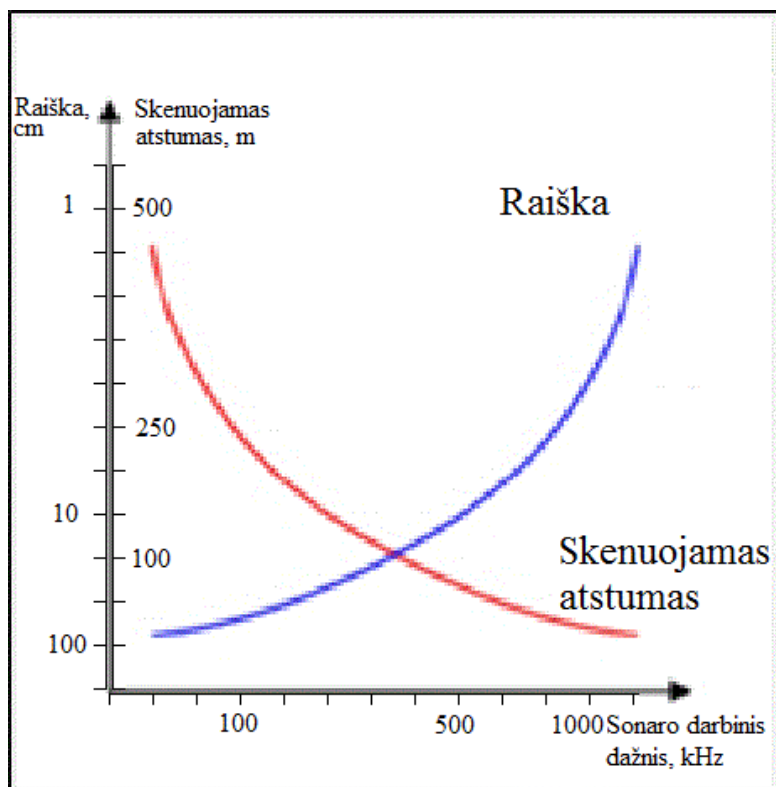
4 lentelė. Reikalavimai sonaro sistemai (BPATPI duomenų fondai)

Parametras	Reikšmė
Tiriamo vaizdo plotas	~ 100 m
Tiriamo vaizdo detalių dydis	Nuo 0.5 m
Tiriamo dugno gylis	Nuo 5 m
Programinė įranga	+

Visus šiuos reikalavimus atitinka Klaipėdos Universiteto Baltijos pajūrio aplinkos tyrimų ir planavimo instituto (KU BPATPI) naudojama sonaro sistema *Edgetech 4100*. Sistemos paskirtis – pirminiai dugno tyrimai. Šis sonaras dirba dviem dažniais, todėl ekspedicijos metu galima pasirinkti kokią vaizdą norima išgauti, didesnės aprėpties ar detalesnį.

Darbo metu sonaras panardinamas į vandenį 4 m – 20 m aukštyje virš jūros dugno ir tempiamas paskui laivą lyno pagalba. Optimalus KU BPATPI naudojamo sonaro *Edgetech 4100* aukštis virš jūros dugno 12 m. Sonaras skleidžia akustinius signalus į abi puses. Atsispindėjęs nuo kliūčių signalas grįžta atgal į sonarą. Vienu sonaro impulsu nuskenuojama viena vaizdo taškų eilutė. Kuo

stipresnis gautas signalas, tuo ryškesnis vaizdo taškas dedamas į dugno vaizdą. Šis sonaras nėra stacionarus laivo įrenginys, visą sonaro sistemą galima labai nesunkiai perkelti iš vieno laivo į kitą.



53 pav. Sonaro raiškos ir skenuojamo atstumo palyginimas
(Trucco A., et, al., 2009)

Esant dideliame gyliui tokių sonarų skenuojamų vaizdų plotis gali siekti keletą kilometrų. Kaip ir kitų tipų sonarų, vaizdo detalumas labai priklauso nuo tiriamo vaizdo pločio bei dugno gylio.

5 lentelė. Sonaro Edgetech 4100 pagrindiniai parametrai ([Interaktyvus], <www.edgetech.com>)

Parametro pavadinimas		Reikšmė
Darbinis dažnis kHz		100/500
Horizontalaus spindulio plotis, °	100 kHz	1.2
	500 kHz	0.5
Maksimalus tiriamas plotis, m	100 kHz	500
	500 kHz	200
Diametras, cm		11.4
Ilgis, cm		140
Svoris, kg		25
Svoris vandenyje, kg		12
Maksimalus gylis, m		1000

3.1.1 Matavimų sistemos kūrimas

Šoninės apžvalgos sonaro sistemą Edgetech 4100 (55 pav.) sudaro dviejų dažnių (100/500 kHz) sonaras Edgetech 272–TD, sonaro valdiklis Edgetech 560P ir nešiojamasis kompiuteris, turintis standartinę tinklo jungtį ir Edgetech Discover 4100 (56 pav.) programinę įrangą.



54 pav. Šoninės apžvalgos sonaro sistema Edgetech 4100 (BPATPI duomenų fondai)

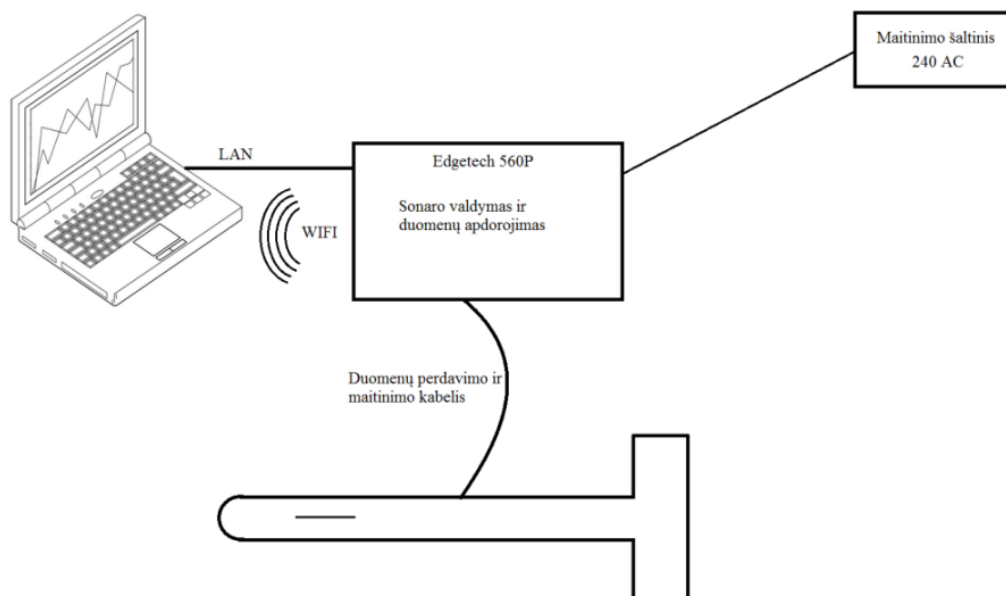
Didžiausi šio tipo sonarų trūkumai – labai skirtingas vaizde esančių šešėlių ilgis, taip vauduose yra dėl didelio skenuojamo ploto ir vaizdo viduryje esančios nuo kelių iki kelių šimtų metrų pločio nematomos zonos (nematomos zonos plotis beveik lygus sonaro aukščiui virš jūros dugno), kurią galima panaikinti naudojant vaizdų persidengimą dugną skenuojant dviem lygiagrečiai sujungtais sonarais, naudojant pagalbinį spindulinį sonarą arba akustinę kamerą. Kartais problema sprendžiama tiesiog paliekant šią zoną neišžvalgytą. Didžiausi šoninės apžvalgos sonarų privalumai – tiriamo vaizdo plotis, bei šešėliai, jie leidžia pamatyti objektų profilius.



55 pav. Edgetech Discover 4100 (BPATPI duomenų fondai)

Sistemos jungimo schema pateikiama schemeje (57 pav.). Prie sonaro valdiklio jungiamas kintamos įtampos maitinimo šaltinis (220 V AC) ir sonaras. Sonaro valdiklis atlieka visas sonaro

sklandžiam veikimui reikalingas funkcijas, juo automatiškai vykdomas pirminis vaizdo apdorojimas ir gerinama vaizdų kokybė. Pats sonaras sistemoje atlieka tik akustinių signalų siųstuvo ir imtuvo funkcijas. Surinktus jūros dugno vaizdus valdiklis perduoda į kompiuterį, naudojant tinklo kabelį arba bevielį tinklą.



56 pav. Sonaro sistemos jungimo schema (autorius pav.)

Plaukiant banguota jūra, nedidelis, sonaro tempimui naudojamas, laivas „šokinėja“, kartu tempdamas ir sonarą. Jei sonaras pradeda kilti aukštyn, jo perduodamas vaizdas plėtėja, jei leidžiasi – siaurėja. Dėl lankstaus sonarą ir laivą jungiančio trosu, laivo ir sonaro svyravimai nėra visiškai vienodi, todėl laivo ir sonaro judesio dinamika nėra vienoda ir būtina matuoti atskirai.

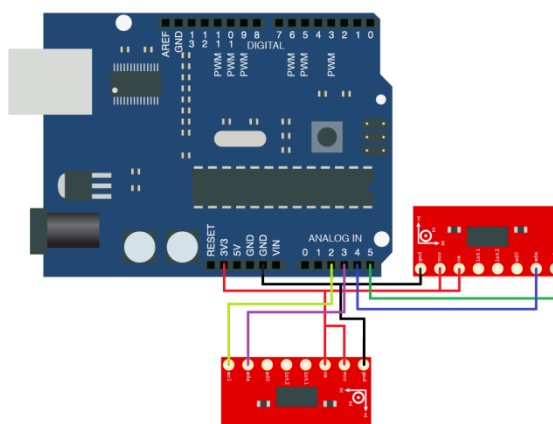
Esant bangavimui sonaru išgautas vaizdas tampa netolygus, todėl prastėja jo kokybė. Kadangi Lietuvoje dažniausiai tiriami labai seklūs vandenys, tyrimams negali būti naudojami dideli, stabiliai plaukiantys laivai. Nenaudojant jokių papildomų sistemų, BPATPI naudojamu laivu galima plaukti ir kokybiškai tirti jūros dugną tik esant labai mažam jūros bangavimui (kai bangos aukštis iki 0,5 m). Norint užtikrinti tolygų sonaro tempimą plaukiant per banguotą jūrą, reikia sukurti sistemą, kuri galėtų tiksliai fiksuoti jūros bangų sukeltus laivo ir jo tempiamo šoninės apžvalgos sonaro judesius, kurie iškraipo sonaru išgaunamus vaizdus. Šių judesių matavimo sistemą sudaro kompiuteris, valdiklis, jutikliai ir jungiamieji laidai. Sistemoje naudojami akcelerometrai ir girokopai galintys fiksuoti įvairius laivo ir sonaro judesius. Prieš atliekant eksperimentinius matavimus jutikliai laidais jungiami prie valdiklio *Arduino Duemilanove* (58 pav.), kuris atlieka duomenų surinkimo funkciją. Surinkti duomenys perduodami į kompiuterį kaupimui ir tolimesniam apdorojimui. Kompiuteris ir valdiklis įrengiami laive, taip, kad būtų apsaugoti nuo vandens

poveikio. Sistemos jutikliai sugrupuoti po du, kiekvieną komplektą sudaro akcelerometras ir giroskopas. Abu jutikliai įmontuoti viename korpuse. Tai didina jutikliais nuskaitytų duomenų patikimumą, nes kampai tarp jutiklių ašių negali kisti. Tokia sistema yra kompaktiškesnė, dėl mažesnio jungiamųjų laidų kiekio patogesnė įrengti. Pirmąjį akcelerometro ir giroskopo rinkinį rekomenduojama tvirtinti prie laivo korpuso, tam, kad būtų fiksuojami laivo judesiai, o antrąjį užsandarintą akcelerometro ir giroskopo rinkinį – primontuoti prie tempiamo sonaro.

Sistemos valdiklis *Arduino Duemilanove* pasirinktas dėl pakankamos spartos ir žemos kainos, taip pat dėl suderinamumo su daugeliu rinkoje esančių jutiklių. Valdiklio parametrai pateikiami 6 lentelėje.

6 lentelė. Pagrindiniai *Arduino Duemilanove* parametrai

Mikrokontroleris	ATmega168
Maitinimo įtampa, V	5
Maitinimo šaltinio įtampa išoriniams prietaisams, V	6–20
Skaitmeninio signalo jungtys	14
PWM jungtys	6
Analoginės jungtys	6
Maksimali išėjimo srovė, mA	50
Darbinis dažnis, Hz	16 MHz
Matmenys, cm	6,9 x 5,3



57 pav. Jutiklių jungimo schema (autoriaus pav.)

Akselerometras *ADXL 345* pasirinktas dėl tinkamo jautrumo diapazono ($\pm 2g$), paprastumo naudoti ir nedidelės kainos. $\pm 2g$ jautrumo diapazonas yra pats mažiausias kokį galima naudoti sistemoje, žemės trauka sudaro 1 g ramybės būsenoje, todėl, norint užfiksuoti kilimą aukštyn, būtina naudoti akcelerometrą, fiksuojantį virš 1 g. Kadangi laivas plaukia salyginai ramia jūra, 2 g yra pakankamas jautrumo diapazonas. Esant reikalui diapazoną galima išplėsti iki ± 4 , 8 ar net 16 g. Didinant jautrumo diapazoną proporcingai mažėja akcelerometro raiška ir tikslumas. Pagrindiniai akcelerometro parametrai pateikiami 7 lentelėje.

7 lentelė. Pagrindiniai akcelerometro parametrai

Pavadinimas	ADXL 345
Maitinimo įtampa, V	1.8V – 3.6
Naudojama srovė, uA	25 – 130
Naudojami protokolai	SPI ir I2C
Raiška	256 padalos / g
Paklaida, %	1,0

Giroskopas *ITG–3200* pasirinktas dėl paprastumo naudoti ir kainos, jo tikslumas yra 1 laipsnis, paklaida 0,2 laipsnio. Pagrindiniai giroskopo parametrai pateikiami 8 lentelėje.

8 lentelė. Pagrindiniai giroskopo parametrai

Pavadinimas	ITG–3200
Maitinimo įtampa, V	2.1 – 3.6
Srovė, μ A	5 μ A
Protokolai	I2C
Darbo dažnis	400 kHz
Raiška	1°
Paklaida	0,2 °

Pagrindinė sistema veikia *Arduino 1.0* ir *SerialChart* programų pagrindu. Prie kompiuterio valdiklis jungiamas USB jungtimi. Programa *Arduino 1.0* yra skirta rašyti ir kompiliuoti *Arduino* valdikliams skirtus kodus. Naudojant šią programą nesudėtinga perkelti sukurtą kodą į valdiklį. Programoje *Arduino* yra duomenų surinkimo funkcija. Valdiklio programavimas ir duomenų surinkimas vykdomas per virtualią COM jungtį. Programa *SerialChart* naudojama duomenų surinkimui. Pastaroji kaip ir *Arduino* programa naudoja virtualią COM jungtį duomenų nuskaitymui iš valdiklio. *SerialChart* pranašumas prieš *Arduino* duomenų nuskaitymo funkciją – galimybė realiu laiku matyti ne tik gaunamas skaitines jutiklių parodymų reikšmes, bet ir pavaizduoti realiu laiku atnaujinamuose grafikuose.

Akselerometro *ADXL 345* maksimalus darbinis dažnis 200 Hz, giroskopo *ITG–3200* – 400Hz. Matavimo sistema gali dirbti iki 150 Hz dažniu tik tada kai prie jos prijungi tik akcelerometrai. Jei prie sistemos prijungiamas giroskopas, sistema pradeda dirbti 20Hz dažniu. Skirtumai tarp maksimalių jutiklių darbinių dažnių ir matavimo sistemos dažnio atsiranda todėl, kad sistemos spartą apriboja valdiklis *Arduino*, kuris nespėja taip greitai surinkti ir apdoroti duomenų.

Taip pat Klaipėdos universiteto *LabView* laboratorijoje parengta ir išbandyta duomenų rinkimo sistema naudojanti modernią ir itin tikslią *National Instruments (NI)* techninę ir programinę įrangą. *NI* sistema yra daug pranašesnė už *Arduino*. Pagrindiniai pranašumai: duomenų surinkimo iš įvairių jutiklių tikslumas, aparatinis duomenų apdorojimas (užtikrina didelę spartą), industrinio lygio patikimumas.

3.2. Bangavimo kompensavimo metodai

Mechaninio sonaro stabilizavimo esmė – fiziškai pašalinti nepageidaujamus sonaro judesius ir jų sukeltus vaizdo triukšmus sonaru išgautuose vaizduose. Šiuos judesius dažniausiai sukelia vandens paviršiaus bangavimas, staigus sonarą tempiančio laivo manevravimas ir povandeninės srovės. Skenuojant dugną Lietuvos teritoriniuose Baltijos jūros vandenyse, bangavimo sukeltas laivo supimas, yra dažniausiai pasitaikanti ir didžiausia problema prastinanti šoninės apžvalgos sonarais išgaunamų vaizdų kokybę. Šiai problemai spręsti pastaruoju metu naudojami keli metodai ir priemonės. Pats paprasčiausias būdas išvengti laivo supimo – planuoti dugno skenavimo ekspedicijas dienomis, kai jūroje nėra bangų arba jos yra labai nedidelės. Šis būdas yra labai efektyvus, tačiau labai apriboja dienų skaičių per metus, kuriomis galima vykdyti ekspedicijas. Tai labai mažina galimas mokslinių tyrimų apimtis per metus, yra didelės priverstinės prastovos. Kitas būdas – tinkamai parenkama plaukimo technika. Norint sumažinti į laivą atsimušančių bangų poveikį, siūloma plaukimo kryptį parinkti taip, kad laivas plauktų ne stačiai bangoms, o išilgai. Tai ne visada pavyksta įgyvendinti, dėl planuojamos skenuoti jūros teritorijos padėties. Gali pasitaikyti, kad skenuojamo ploto ilgoji dalis yra statmena bangų kryptčiai. Plaukiant ne išilgai skenuojamo ploto, labai lėtėja darbas, nes tenka daugiau kartų atlikti apsisukimo manevrus. Kita su plaukimo technika susijusi problema – sonaro netolygus plaukimas laivo apsisukimų metu. Dažniausiai vaizdai surinkti apsisukimų metu būna taip iškraipyti, kad jie tiesiog iškerpami ir lieka nepanaudoti. Literatūros apžvalgoje yra aprašyti metodai, kaip galima optimizuoti laivo apsisukimo manevrą, kad sonaras kuo greičiau pradėtų plaukti stabilia trajektorija. Optimaliausias laivo apsisukimo būdas yra naudoti supaprastintos baliono formos plaukimo trajektoriją (31 pav.). Tai yra nesudėtingas ir efektyvus būdas pagerinti vaizdų kokybę ir sutaupyti laiko apsisukimų metu.

Ekspedicijų metu naudojamo laivo pasirinkimas taip pat labai svarbus. Kuo didesnis ir masyvesnis laivas, tuo jis tolygiau plaukia banguotame vandenyje. Tuo pačiu tolygiau tempiamas šoninės apžvalgos sonaras ir gerėja juo išgaunamų vaizdų kokybė. Didelio laivo pagrindiniai trūkumai – jais negalima plaukti priekrantėse dėl didesniems laivams taikomų apribojimų, tokio laivo pirkimo, nuomos ir išlaikymo kaštai yra labai dideli.

Lietuvos teritoriniuose vandenyse Baltijos jūros gylis gali siekti iki 100 m, tačiau yra labai seklių vietų, kurias taip pat tenka dažnai tirti. Optimalus darbinis sonaro aukštis virš jūros dugno yra apie 12m, tačiau skenuojant priekrantes ir seklias vietas, tenka sonarą tempti ir vos 3–4 metrų aukštyje virš jūros dugno tai pasiekama naudojant itin trumpą (2 – 5m) trosą, jungiantį laivą ir sonarą. Naudojant tokį trumpą trosą sonaras labiau blaškomas, nes jį veikia laivo sukeliama turbulencija bei trumpas trosas nesugeria laivo tempimo netolygumų. Plaukiant gilesniuose vandenyse naudojamas ilgas trosas, todėl sonaras tempiamas toliau nuo laivo, tai mažina laivo

sukeliamos turbulencijos poveikį ir ilgas trosas veikia kaip amortizatorius, sugeriantis laivo plaukimo netolygumus. Skenuojant jūros dugną giliuose vandenyse susiduriama su kitokia problema. Sonarą labai sunku išlaikyti pastoviam gylyje. Tempiamas sonaras labai dažnai kyla į vandens paviršių, taip toldamas nuo optimalaus 12 m virš jūros dugno aukščio ([Interaktyvus], <www.edgetech.com>). Tada labai prastėja sonaru išgaunamų vaizdų kokybė. Šiai problemai spęsti nėra nei techninių įrenginių nei specialios plaukimo technikos. Portugalijos mokslininkai (F. C. Teixeira et al., 2010) siūlo įprastą dugno skenavimo sistemą, kurią sudaro laivas ir šoninės apžvalgos sonaras, papildyti svorio stabilizatoriumi. Sistemos bendras vaizdas pateikiamas 7 paveiksle. Publikacijoje aprašyta sistema naudojama didelio gylio vandenyno dugnui tirti. Sistemoje naudojamų kabelių ilgis siekia iki 900 m. Stabilizuojančio svorio masė net 200 kg, tyrimams naudojamo sonaro – 113,5 kg. Pagrindiniai sonarų parametrai pateikiami 9 lentelėje.

9 lentelė. Sonarų parametrai (BPATPI duomenų fondai)

Parametro pavadinimas	Edgetech 4100	Portugalijos mokslininkų naudojamas sonaras
Diametras, cm	11,4	35
Ilgis, cm	140	295
Svoris, kg	25	113,5
Svoris vandenyje, kg	12	-5,7

4. MATAVIMŲ SISTEMOS VERIFIKAVIMAS IR REZULTATŲ APTARIMAS

4.1. Jūriniai tyrimai

Sukurta matavimų sistema sumontuota BPATPI naudojamame laive. Jutikliai primontuoti toje pačioje vietoje, kurioje montuojamas sonarą laikantis trosas.

Matavimai atlikti, kai oro sąlygos buvo palankios darbams jūroje: vėjas nepastovios krypties 1–2 m/s, bangų aukštis 0,3–0,5 m. Laivo pagrindiniai parametrai pateikiami 10 lentelėje. Tiriant jūros dugną naudojant šoninės apžvalgos sonaro sistemą Edgetech 4100 laivas turi plaukti 4 mazgų (apie 2,06 m/s) greičiu (BPATPI duomenų fondai). Matavimų metu laivas plaukė 10 mazgų (apie 5,14 m/s) greičiu.

10 lentelė. Eksperimentų metu naudoto laivo dydis

Parametras	Dydis
Ilgis, m	16,5
Plotis, m	3
Grimzlė, m	1,4
Greitis, mazgai	10

4.2. Nuskaitomų duomenų pritaikymas sistemai

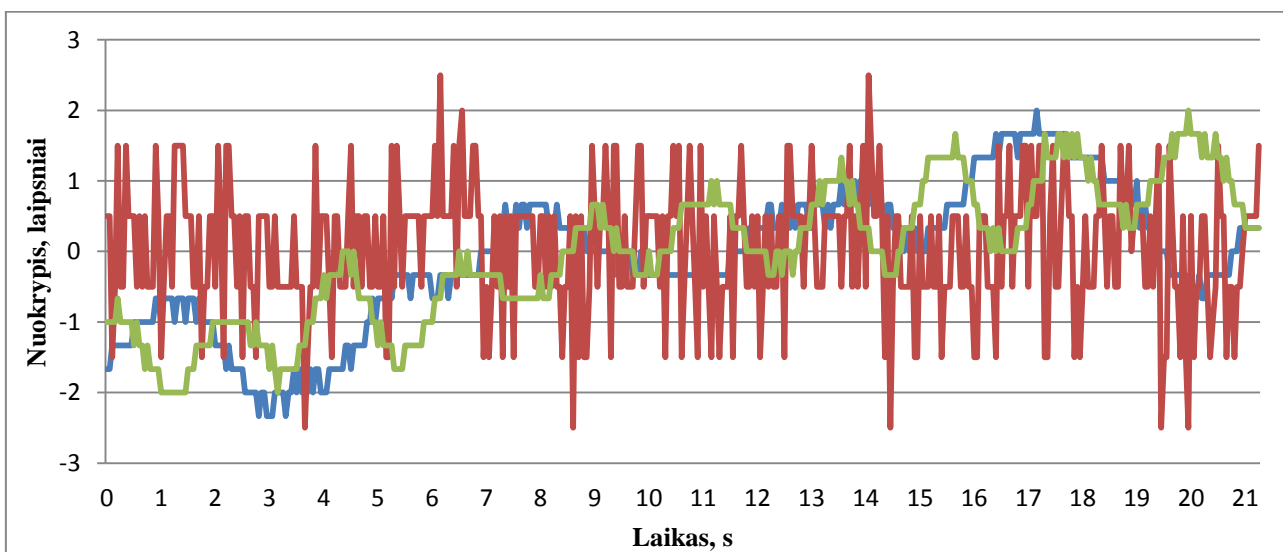
Giroskopas *ITG–3200* siunčia į duomenis nuskaitantį valdiklį iš karto signalus paversdamas į laipsnius. Todėl jo signalo papildomai apdoroti nereikia.

Akselerometro parodymai siunčiami signalais, kuriuose 1 g ($9,81 \text{ m/s}^2$) yra 256. Beto, nejudinant akselerometro, Z ašimi rodoma -256 reikšmė, nes akselerometras fiksuoja laisvojo kritimo pagreitį. Norint tinkamai pateikti pagreičius Z ašimi reikia prie gauto signalo reikšmės pridėti 256. Gautą reikšmę padalinti iš 256 ir padauginti iš 9,81. Gaunamas pagreitis, matavimo vienetai – m/s^2 .

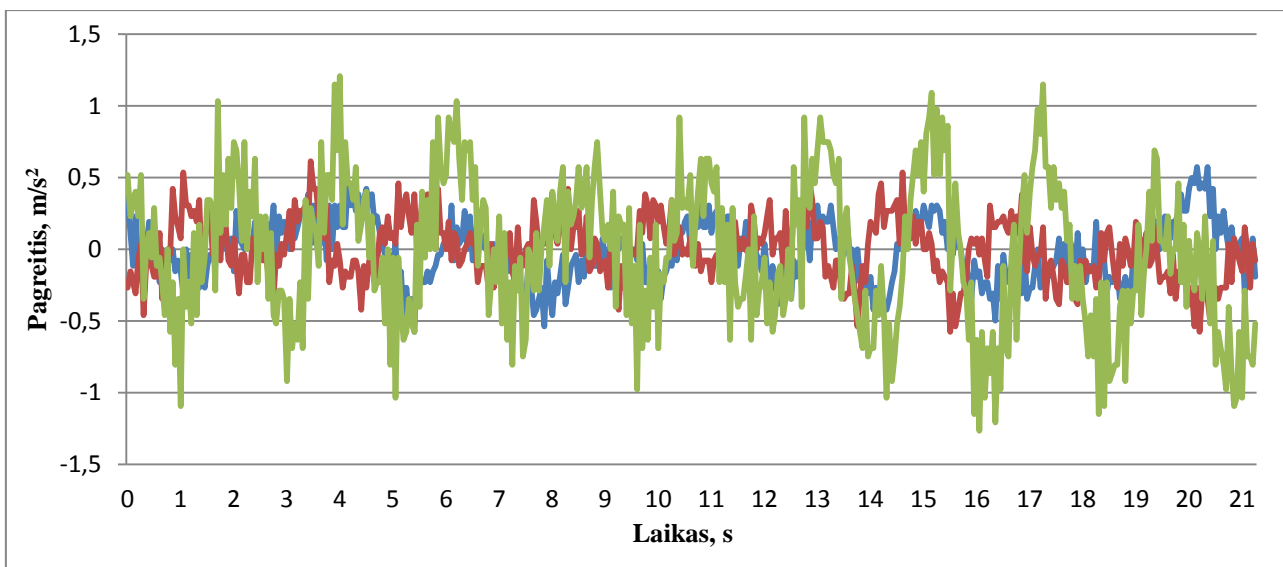
4.3. Matavimų rezultatai

Pirmojo matavimo rezultatai pateikiami 59–61 paveiksluose. 59 paveiksle pateikiami trijų ašių giroskopu surinkti duomenys. Matome, kad parametrai kinta labai nežymiai. Jūros bangavimas yra per mažas kad būtų sukelti didesni laivo svyravimai. 60 paveiksle pateikiami trijų ašių akselerometru *ADXL 345* surinkti nuskaityti duomenys. Matome, kad dėl laivo variklių sukeltų vibracijų ir kitų trikdžių akselerometro parodymai nėra tolygūs, tačiau labai aiškiai matosi laivo

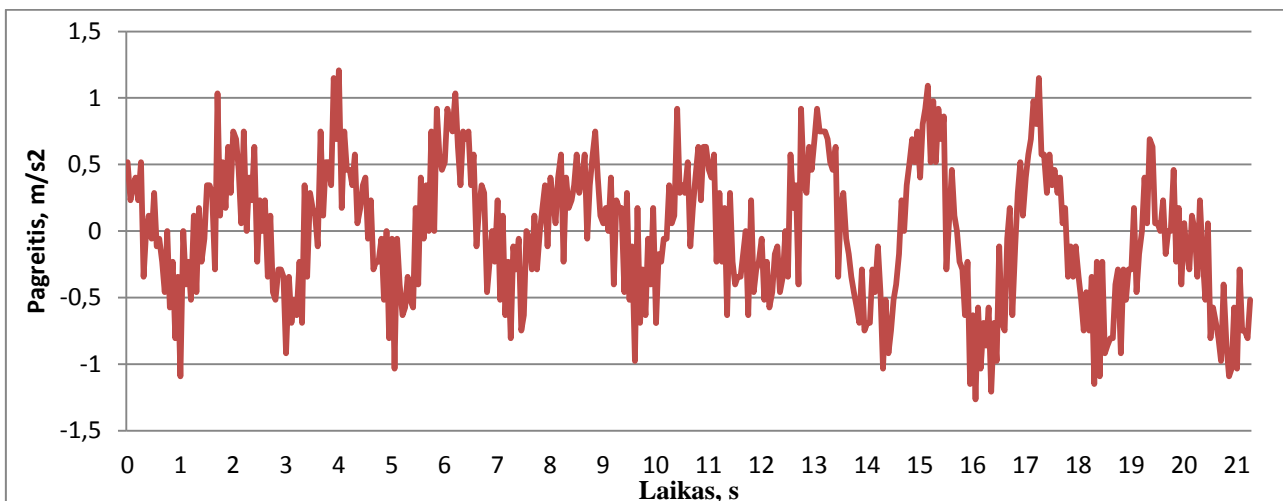
judėjimo parametrai. Ypač aiškiai išreikštas vertikalus laivo švytavimas, kuris atsiranda laivui plaukiant per bangas. Atskirai Z ašimi užfiksuoti laivo pagreičiai pateikiami 61 paveiksle.



58 pav. Pirmojo matavimo metu 3 ašių giroskopu surinkti duomenys



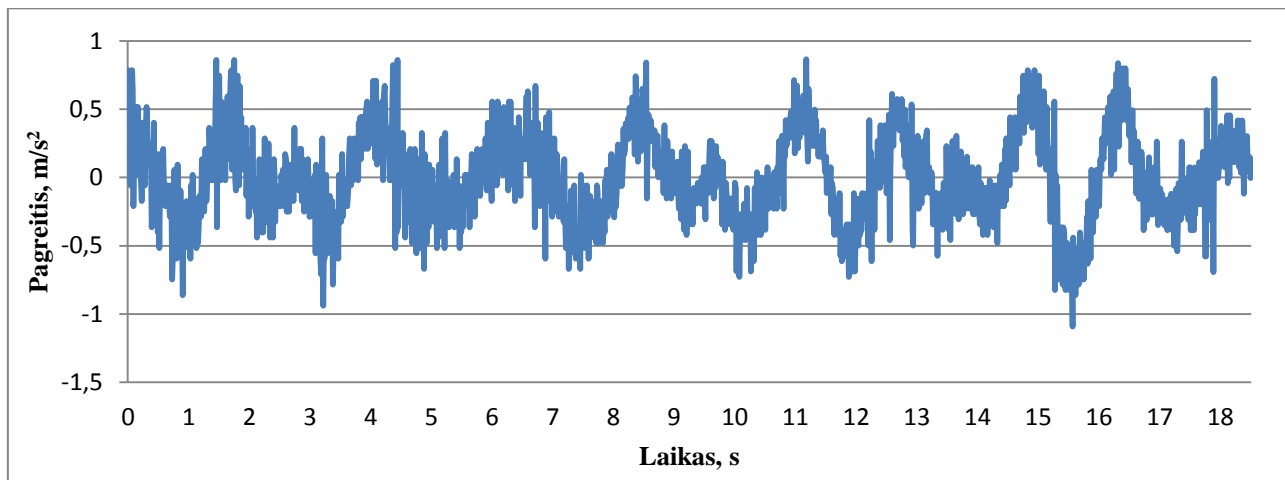
59 pav. Pirmojo matavimo metu 3 ašių akselerometru surinkti duomenys



60 pav. Pirmojo matavimo metu akselerometru surinkti duomenys Z ašimi

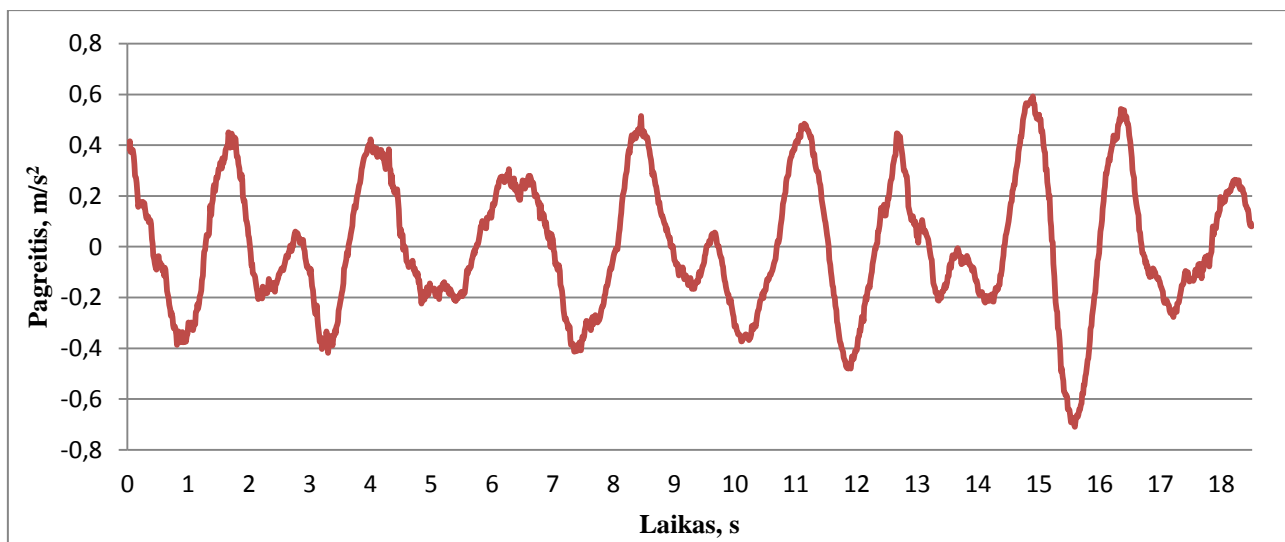
Antrasis matavimas buvo atliktas tą pačią dieną, naudojant tą patį laivą, tačiau judesių fiksavimui naudotas tik akcelerometras. Matavimų dažnis padidintas iki 80 Hz. Šiuo atveju aktualios tik akcelerometro Z ašimi nuskaitytos reikšmės.

Matavimo rezultatai pateikiami 62 paveiksle.



61 pav. Antrojo matavimo metu akcelerometru surinkti duomenys

Matome, kad akcelerometru surinkti duomenys nėra tolygūs. Duomenų surinkimui naudojant *Arduino* valdiklį, duomenų apdorojimas realiu laiku yra sudėtinga užduotis, nes procesą lėtina nedidelė valdiklio sparta ir tai, kad *Arduino* valdikliuose nėra numatyta aparatinio duomenų apdorojimo galimybė. Naudojant duomenų apdorojimui skirtą programą *Scilab* jau nuskaitytiems duomenims pritaikome programinį filtrą, kuris išlygina didelius akcelerometru nuskaitytų duomenų šuolius. Pritaikius programinį filtrą (Koseyaporn J. et al., 2007), gauname daug tolygiau kintančius duomenis. Filtru apdoroti duomenys pavaizduoti 56 paveiksle. Naudojant *NI* signalų nuskaitymo ir apdorojimui skirtus valdiklius galima realiu laiku išlyginti akcelerometru ar kitais jutikliais nuskaitytus duomenis.



62 pav. Stabilizuoti akcelerometro parametrai

Tolimesniuose skaičiavimuose naudojame filtrais neapdorotus antrojo matavimo metu surinktus duomenis. Atskaitos taško vertikalios švytavimo greitį pradedame matuoti kai jo reikšmė lygi 0. Tuomet atskaitos taškas yra aukščiausioje arba žemiausioje padėtyje, o pagreičio modulis – didžiausias. Skaičiavimams pasirinktas aukščiausias taškas.

Greičio apskaičiavimui naudojama formulė:

$$v_{n+1} = \frac{(a_n + a_{n+1})}{2} \Delta t + v_n, \quad (36)$$

čia:

v_{n+1} – dabartinis greitis;

a_{n+1} – dabartinis pagreitis;

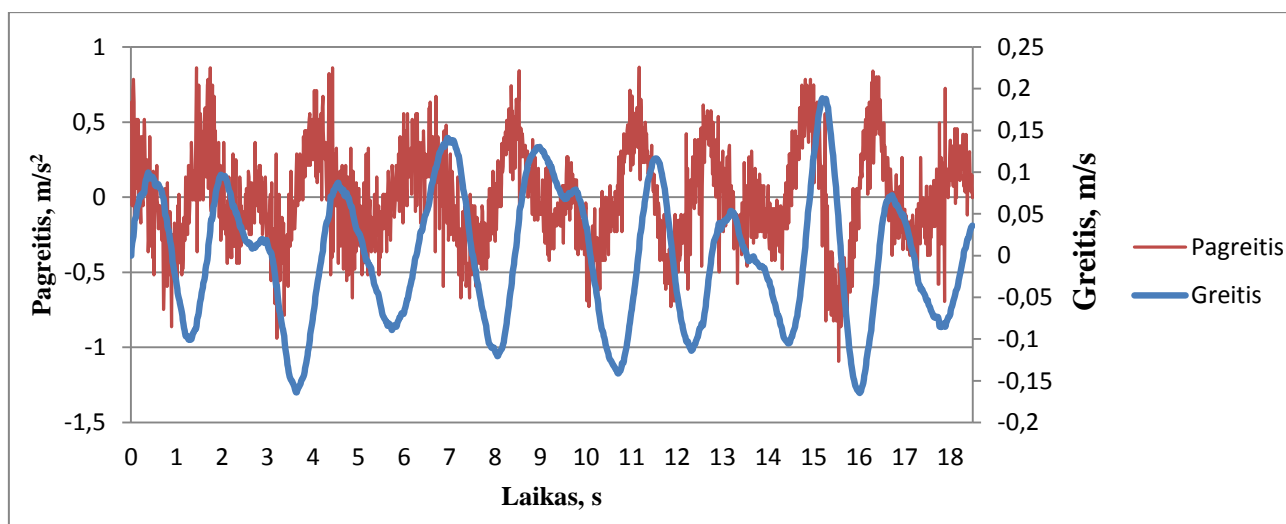
a_n – pagreitis, užfiksuotas ankstesnio matavimo metu;

Δt – laiko tarpas tarp pagreičio nuskaitymų, 0,05 s;

v_n – greitis, užfiksuotas ankstesnio matavimo metu.

Tikroje sistemoje bus naudojami valdikliai su žemo dažnio filtrais, todėl jų duomenys bus kintantys tolygiai. Skaičiavimai bus pradami nuo tada, kai pagreičio reikšmė pradės kristi. Matavimas atliktas prieš pagreičio mažėjimą naudojamas kaip matavimų pradžios taškas, kurio greitis $v_0 = 0 \text{ m/s}$.

64 paveiksle pateikiamas grafikas, kuriame vaizduojami pagreičiai Z ašimi ir apskaičiuoti švytavimo greičiai.



63 pav. Laivo pagreičiai ir greičiai vertikalia ašimi

Sonaro sistemos operatorius nustato pradinį kabelio ilgį h . Stabilizavimo sistema, atsižvelgdama į laivo švytavimą, gali keisti kabelio ilgį, tačiau kabelio ilgis privalo išlikti panašios

reikšmės ($\pm 0,5 - 2$ m). Operatorius gali nustatyti maksimalų leidžiamą sonaro kabelio ilgio pokytį. Skaičiavimuose naudojame kabelio ilgio pokytį h_n .

Pradiniai sistemos duomenys:

$$\Delta t = 0,0125 \text{ s};$$

$$h_n = 0 \text{ m}$$

Kabelio ilgio bendro pokyčio h_{n+1} skaičiavimams naudojame formulę:

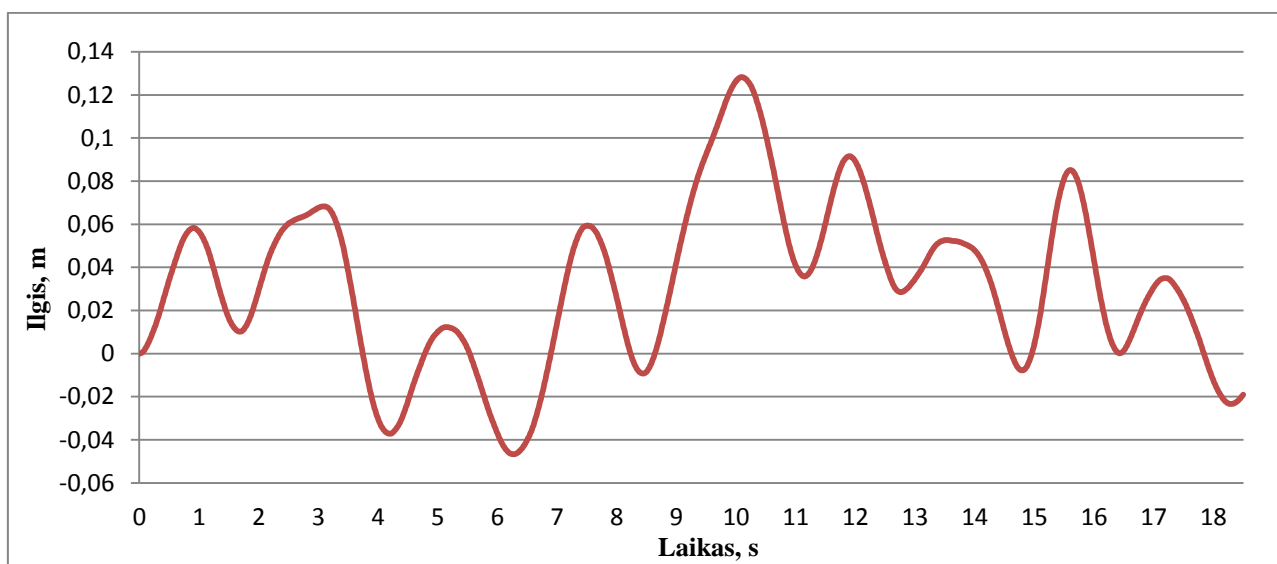
$$h_{n+1} = h_n + \Delta t \cdot v_n + \frac{(a_n + a_{n+1}) \Delta t^2}{2}, \quad (37)$$

čia:

h_{n+1} – dabartinis kabelio ilgio skirtumas nuo pradinės padėties;

h_n – kabelio ilgio skirtumas nuo pradinės padėties, užfiksuotas prieš Δt laiko tarpą;

65 paveiksle pateikiamas grafikas, kuriame pavaizduojami apskaičiuoti kabelio ilgio pokyčiai per laiką.

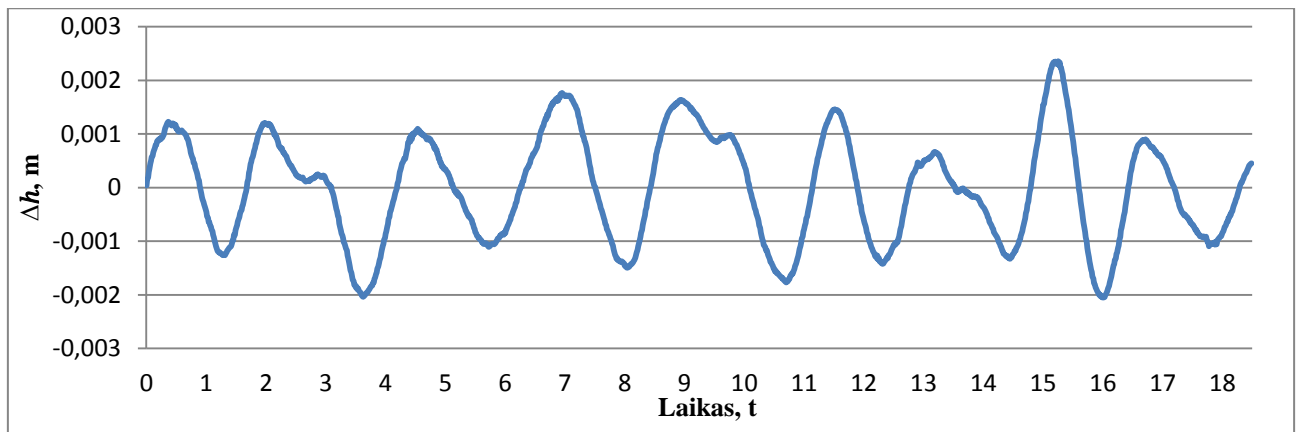


64 pav. Bendrasis kabelio ilgio pokytis

Momentiniai kabelio ilgio pokyčiai Δh apskaičiuojami pagal formulę:

$$\Delta h = \Delta t \cdot v_n + \frac{(a_n + a_{n+1}) \Delta t^2}{2}, \quad (38)$$

Skaičiavimo rezultatai pateikiami 66 paveiklėse.



65 pav. Kabelio ilgio pokyčiai per laiką Δt

Siekiant kuo geresnių duomenų nuskaitymo sistemos parametrų, galima naudoti keletą priemonių. Duomenų nuskaitymui galima naudoti du ar net tris vienodus jutiklius, pritvirtintus vienoje vietoje ir jų parametrus naudoti ne kaip atskirus dydžius, o jų nuskaitytų parametrų matematinę vidurkį. Taip pat galima naudoti skirtingus tą patį parametą fiksuojančius jutiklius ir išvesti jų gaunamą vidurkį (pvz.: naudoti 3 skirtingų modelių, bet dirbančių vienodu dažniu ir reikalingame diapazone). Taip pat galima apjungti skirtingų tipų jutiklius ir apjungti jais nuskaitytus duomenis siekiant padidinti jutiklių rezultatų tolygumą ir tikslumą. Šiuo metodu dažnai apjungiami akselerometrais ir giroskopais gauti duomenys (<http://bildr.org/>).

Siekiant pašalinti dėl laivo posvyrių pastoviai kintantį kampą tarp akselerometro Z ašies ir sunkio jėgos, siūloma vieną ar kelis (jei naudojami keli) akselerometrus įrengti ant nesvyrančios movos.

4.4. Virtualus sonaro stabilizavimas skaičiavimuose

Nedidelių sonaro vertikalinių švytavimų sukeltus vaizdų iškraipymus galima pakoreguoti naudojant ir programines priemones.

Sonaras *Edgetech 4100* prie kompiuterio jungiamas rj-45 tinklo jungtimi ([Interaktyvus], <www.edgetech.com>). Tai labai palengvina duomenų nuskaitymą, nes jau yra sukurta nemažai programinių priemonių stebėti tinklui, be to nereikia papildomos techninės įrangos, kiekvienas kompiuteris turi tinklo jungtį.

Norint pakeisti dar neapdorotus sonaru gautus duomenis, reikia sukurti sistemą, kuri gali nuskaityti ir pakeisti sonaro į kompiuterį siunčiamus duomenis.

Prieš kuriant duomenų apdorojimui skirtą sistemą, reikia nuskaityti sonaro siunčiamus signalus ir išsiaiškinti jų struktūrą. Eksperimentiniam sonaro siunčiamų duomenų nuskaitymui naudojama

specializuota programinė įranga. Kiekvienam plaukimui į jūrą reikia daug parengiamųjų darbų, bei lėšų, todėl sonaro signalų nuskaitymo tyrimams skiriamas tik vienas plaukimas. Jo metu sonaro siunčiami duomenys bus nuskaityti su visomis populiariausiomis tinklo stebėjimo programomis. Pasirinktos programinės priemonės pateikiamos 14 lentelėje.

11 lentelė. Duomenų sensoriniu tinklu stebėjimo programos

Programa	Versija	Leidėjas	Licenzijos tipas
Wireshark	1.6.0	The Wireshark team	Nemokama
Network monitor	3.4	Microsoft	Nemokama
WinDump	4.1.1	The Tcpdump team	Nemokama
Omnipeek	6.5.1	Wild packets	Mokama
Capsa	7.4	Colasoft	Nemokama

Nustatyta, kad tinkamiausia programa sonaro siunčiamiems duomenims nuskaityti yra *Wireshark*.

Eksperimentų metu nustatyta, kad sonaro valdiklis visada siunčia duomenų paketus, tačiau sonarui neveikiant, visi duomenų paketai yra tušti. Taip pat bus išsiaiškinta kokius valdymo signalus sonarui siunčia kompiuteris. Sonaro signalai pateikiami šešioliktainiu kodu. Nulis signale siunčiamas kaip „00“, vienetas kaip „01“, 255 – „FF“ (P. Heidenreich et al., 2009).

Eksperimentų metu išanalizuota šoninės apžvalgos sonaro siunčiamo signalo struktūra. Sonarą kompiuteris mato kaip du atskirus prietaisus, kurie atskirai siunčia duomenis. Vienas prietaisas skenuoja jūros dugną dešinėje pusėje, kitas – kairėje pusėje. Gamintojas neskelbia sonaro raiškos. Nuskaičius signalus nustatyta, kad 500 Hz dažniu dirbančio sonaro siunčiamų vaizdo eilutės yra sudarytos iš 1x2996 vaizdo taškų. Sonarą tempiant optimaliu 12 m atstumu virš jūros dugno, gaunamas vaizdo plotis – 200 m. Turint šiuos duomenis galima paskačiuoti vidutinį dugno plotį, kurį pavaizduoja vienas vaizdo taškas – 6,7 cm. Jei sonaras tempiamas arčiau jūros dugno gaunamas detalesnis dugno vaizdas, jei aukščiau – užfiksuojamas prastesnės kokybės vaizdas. Norint sukurti vaizdų apdorojimo sistemą veikiančią realiu laiku, reikia naudoti didelės spartos valdiklį (pvz.: National Instruments Speedy), duomenims nuskaityti ir perduoti naudojamus tinklo modulius ir jutiklius. Svarbiausi parametrai būtų nuskaityti akselerometru. Giroskopo parodymai matavimų metu turėtų nekisti arba kisti labai nedidelėmis reikšmėmis, nes programiškai pašalinti sonaro vingiavimo, švytavimo išilgine ašimi, sukimosi gulsčiai, vertimosi apie išilginę ašį iškraipytus vaizdus yra labai sudėtinga. Aktualiausi sonaro nepageidaujami judesiai – sonaro vertikalus supimasis. Žymūs prie sonaro primontuoto giroskopo parodymų pokyčiai reikštų, kad sonaru gaunamų vaizdų apdoroti neverta, sistema automatiškai sustabdytų darbą.

Vaizdų koregavimas gali būti sėkmingai įgyvendinamas tik sonarui judant sąlyginai tolygiai. Sistemos užduotis – fiksuoti sonaro pagreičius vertikalia ašimi. Jei nustatytas pagreitis yra didesnis už leistiną ribą, valdiklis pakeičia sonaro siunčiamų duomenų paketo dalį, kurioje aprašyta sonaru nuskaityto vaizdo eilutė. Jei sonaras nusileido žemyn, vaizdą reikia praplėsti, vaizdą interpoliuojant. Jei sonaras pakyla – vaizdo eilutė siaurinama, ištrinant taškus iš vaizdo eilutės.

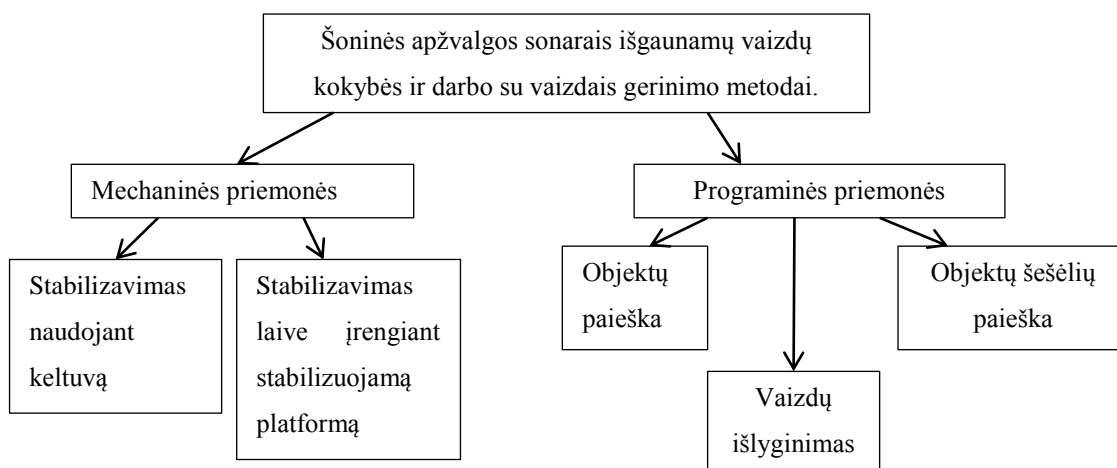
Kitas sistemos panaudojimo būdas – jutikliais surinktus duomenis įkelti į papildomiems duomenims rezervuotas duomenų paketų vietas. Tam, kad sonaru išgautus vaizdus būtų galima apdoroti specialiomis programomis.

5. ŠONINĖS APŽVALGOS SONARAIŠ IŠGAUNAMŲ VAIZDŲ KOKYBĖS GERINIMO SISTEMŲ PROTOTIPAI

5.1. Prototipų modeliai

Vienas iš patikimiausių būdų gauti kokybiškus jūros dugno vaizdus yra tyrimams naudojamo sonaro stabilizavimo užtikrinimas. Programinės priemonės dažniausiai skirtos pašalinti ne mechaninio judesio, o sonare įrengtų jutiklių triukšmų sukeltus vaizdų trikdžius.

Šiame skyriuje aprašomi du skirtingi mechaninio sonaro stabilizavimo metodai, kurių tikslas – perduoti kiek įmanoma mažiau jūros bangavimo sukeltų judesių tempiamam sonarui. Taip pat aprašomi trys programiniai sprendimai. Du metodai, skirti svarbių objektų paieškai šoninės apžvalgos sonarais išgautuose vaizduose. Trečias metodas skirtas nedidelių nepageidaujamų sonaro judesių sukeltų trikdžių šalinimui.



66 pav. Naudojami metodai (autoriaus pav.)

5.2. Sonaro panardinimo gylio stabilizavimas

Labai svarbi problema iškylanti jūros dugną skenuojant šoninės apžvalgos sonaru – reikiamo aukščio virš jūros dugno palaikymas. Sonarą yra sunku nuleisti į reikiamą gylį. BPATPI mokslininkai šią problemą sprendžia plaukdami lėčiau nei reikalauja sonaro gamintojas ir prie sonaro kabindami papildomus svorius (dažniausiai naudojama metalinė grandinė). Mažinant plaukimo greitį prastėja sonaru išgaunamų vaizdų kokybė, taip pat plaukiant per lėtai iškyla sonaro atsitrenkimo į jūros dugną pavojus.

Šiam metodui įgyvendinti naudojami laivo judesio jutikliai, duomenų apdorojimo sistema ir sonarą stabilizuojantis svoris.

Svoris (50 kg) kabinamas prie sonaro duomenų kabelio, 20 m iki sonaro. Tokia sistema sukurta remiantis F. C. Teixeira at al., 2010 m. straipsniais. Svorio paskirtys sistemoje:

- 1) Sonaro gylio palaikymo užtikrinimas
- 2) Sonaro stabilizavimas

Straipsniuose mokslininkai tiksliai neapibūdino stabilizuojančio svorio formos ir dydžio. Kuriamoje sistemoje planuojama naudoti aptakios formos pilnaviduri metalinį svorį. Publikacijose aprašomoje sistemoje naudojamas 800 m kabelis jungiantis laivą su stabilizuojančiu svoriu ir 30, 50 ir 100 metrų kabeliai, jungiantys stabilizuojantį svorį ir šoninės apžvalgos sonarą. Tiriant Baltijos jūros dugną, ypač priekrantėse, tokių ilgų kabelių naudoti neįmanoma dėl seklių vandenų, iškiltų didelis sonaro atsitrenkimo į jūros dugną pavojus. Todėl Baltijos jūroje naudojamoje sistemoje bus naudojami trumpesni kabeliai ir tik didesnio nei 40 m (Lietuvos teritoriniuose vandenyse Baltijos jūros gylis yra iki 100 m) gylio jūros dugnui tirti. Kuriamoje sistemoje siūlomas kabelio, jungiančio stabilizuojantį svorį ir sonarą ilgis būtų nuo 10 m iki 50 m. Optimalus kabelio ilgis būtų nustatomas eksperimentų būdu. Bus ieškoma geriausios sonaro stabilumo, valdomumo ir tolygaus tempimo kombinacijos. Mokslininkų vykdytų eksperimentų metu išsiaiškinta, kad sonaras tolygiausiai tempiamas naudojant patį ilgiausią (100 m) kabelį, jungiantį stabilizuojantį svorį ir sonarą. Tačiau naudojant 100 m kabelį gali iškilti sunkumų dažnai manevruojant sekliuose Baltijos jūros vandenyse. Taip pat konstruojant sistemą būtina atsižvelgti į tai, kad BPATPI naudojamas sonaras vandenyje skęsta, o mokslininkų (F. C. Teixeira at al., 2010 m.) naudojamas sonaras kyla į vandens paviršių, jo tankis mažesnis už vandens. Todėl, laivui sustojus, kyla pavojus sonarui atsitrenkti į jūros dugną ir būti sugadintam. Siūloma ekspedicijų metu palaikyti 10 m – 15 m sonaro aukštį virš jūros dugno ir nenaudoti ilgesnio kaip 30 m kabelio jungiančio stabilizuojantį svorį ir sonarą. Saugumo sumetimais, laivui manevruojant arba plaukiant lėta eiga (iki 4 mazgų greičiu), rekomenduojama sonarą pakelti papildomai 5 m – 10 m. Siekiant išvengti sonaro apgadinimų. Prieš laivui sustojant sonaras turi būti iškeltas į vandens paviršių.

Sistemos, naudojančios *Edgetech 4100* sonarą ir stabilizuojantį svorį, testavimui siūloma iš kompozicinių medžiagų pagaminti sonaro maketą, kurio svoris ir matmenys būtų tokie patys kaip ir originalo. Šis modelis būtų naudojamas pavojingiems eksperimentams atlikti, kurių metu sonaro modelis gali atsitrenkti į jūros dugną. Makete būtų įrengti jutikliai judesiui, vibracijoms, posvyriams matuoti. Naudojant šį maketą būtų galima atlikti tyrimus, kuriuos dėl per didelės rizikos su tikru sonaru atlikti pavojinga. Vienas iš pavyzdžių naudoti ilgesnį nei 20 m ilgio kabelį, jungiantį sonarą ir stabilizuojantį svorį. Eksperimentų rezultatai parodytų ar naudojant turimą įrangą įmanoma naudoti kabelį, kurio ilgis didesnis nei atstumas tarp sonaro ir jūros dugno. Taip pat būtų bandoma

pakeisti sonaro plūdrumą bandant prie jo korpuso primontuoti iš specialios medžiagos pagamintus žiedus, kurie sumažintų sonaro svorį vandenyje. Būtų tiriama jų įtaka sonaro plaukimo savybėms.

Numatomų eksperimentinių plaukimų sąrašas ir parametrai pateikiami 11 lentelėje. Visų plaukimų metu bus naudojamas sonaro maketas. Eilutėse, kuriose nurodytas vienas sonaro greitis, eksperimento metu sonaras bus pakeliamas ir nuleidžiamas laivui plaukiant pastoviu greičiu.

12 lentelė. Numatomi eksperimentiniai plaukimai

Ekspimento nr.	Jūros dugno gylis, m	Tempimo greitis, mazgai	Pirmojo kabelio ilgis, m	Antrojo kabelio ilgis, m	Planuojamas sonaro aukštis virš jūros dugno, m
1	10	4	9	Nenaudojamas	12
2	20	4	15	Nenaudojamas	12
3	20	4	5	10	12
4	60	4	75	10	12
5	100	4	100	30	20

Ekspimentų metu bus matuojami sonaro maketo ir laivo parametrai, pateikiami 12 lentelėje.

13 lentelė. Ekspimentų metu matuojami parametrai

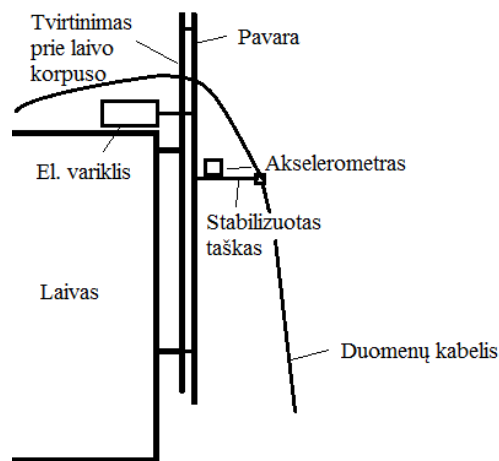
Nr.	Laivas	Sonaro maketas
1	Greitis	Aukštis virš jūros dugno
2	Judesio dinamika visomis ašimis	Judesio dinamika visomis ašimis
3	Posvyriai visomis ašimis	Posvyriai visomis ašimis

5.3. Bangų kompensavimo sistema

Siekiant išvengti vertikalios laivo švytavimo sukeltų trukdžių, siūloma laive įrengti mechatroninę sistemą, kuri kompensuotų jūros bangavimo sukeltą vertikalų laivo švytavimą. Sistemos esmė – išmatuoti laivo vertikalų judėjimą ir naudojant mechanines priemones, priešingu judesiu kompensuoti šį judesį ir taip sukurti stabilią platformą.

Siūlomi du pagrindiniai sistemos modeliai. Pirmasis modelis (68 pav.) judesio kompensavimui naudoja išilginį judesį. Sistema montuojama virš vandens paviršiaus. Vertikali eiga – 1,5 m. Sistemos pagrindinė užduotis – stabilizuoti platformą. Ant šios platformos sumontuotas akselerometras fiksuos judesius. Sistemos valdiklis kas 0,0125 s nuskaitys akselerometro duomenis ir jei užfiksuotas judesys yra didesnis už leistiną sistemos paklaidą, valdiklis siunčia signalą į uždaro tipo elektrinės pavaros variklį, kad šis platformą pastumtų į priešingą pusę, nei užfiksuotas judesys (Pawlak A. M., 2006). Akselerometro montavimo vieta yra ne laive, o ant stabilizuojamos platformos, nes sistemos tikslas stabilizuoti ne laivą, o platformą. Siekiama, kad ant stabilizuojančios platformos įrengto akselerometro parodymai būtų kuo arčiau 1g (laisvojo kritimo pagreitis, 9,81 m/s²). Akselerometras įrengtas taip, kad jo Z ašis visada būtų nukreipta į apačią.

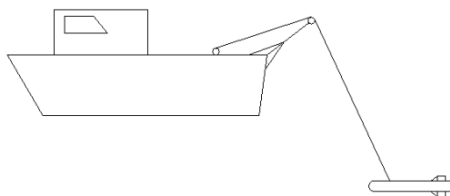
Toks akcelerometro įrengimas reikalingas tam, kad laivo šoniniai švytavimai nekliudytų tiksliai išmatuoti vertikalųjų švytavimų. Sistemoje naudojama uždaro tipo didelio tikslumo elektrinė pavara. Šio tipo pavaros gali pasiekti itin didelius pagreičius (iki 40 m/s^2), greičius (iki 10 m/s) ir dirba labai tiksliai, padėtį gali fiksuoti $0,005 \text{ mm}$ tikslumu. Tokios pavaros gali dirbti agresyviose ir drėgnose aplinkose, todėl jos gali patikimai dirbti laive.



67 pav. Sonaro stabilizavimo sistema (autoriaus pav.)

Panaši sistema gali būti pagaminta vietoj uždaro tipo elektrinės pavaros naudojant diržinę arba grandininę pavara, kurią suks nuolatinės srovės variklis. Sistemos veikimo principas lygiai toks pat kaip ir uždaro tipo elektrinę pavara naudojančios sistemos. Sistemos padėtis fiksuojama skaitmeniniu potenciometru skaičiuojant kiek apsisukimų pasisuko variklis.

Tokiose sistemose sonaro trosas būtų fiksuojamas ant stabilizuotos platformos. Taip būtų išvengta sonaro vertikalaus „tampymo“ laivui plaukiant per banguotą jūrą. Valdymo sistema nuolat seka stabilizuoto taško padėtį ir esant laisvai eigai (akcelerometro parodymai Z ašimi $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$), taškas grąžinamas į pavaros vidurį, tam, kad sistema būtų paruošta kompensuoti judesį bet kuria kryptimi. Taip pat numatyta ir kalibracijos funkcija, kurios metu pavara vedama iki kraštinių padėčių.



68 Pav. Sonaro sistema naudojanti gervę (autoriaus pav.)

Kitas galimas sonaro stabilizavimo sistemos prototipas – sistema naudojanti laivo gale įrengtą gervę, sonaro kabelį ir variklį, skirtą sonaro kabelio ilgiui reguliuoti (Y. Wenlin et al., 2008). Sistemos bendra schema pavaizduota 69 paveiksle. Tokios sistemos privalumas tas kad ji naudoja jau esamą laivo įrangą. Tokia sistema nenaudoja stabilizuojamos platformos. Dažniausiai prie laivo

gervės montuojami lėtaeigiai, mažą tikslumą turintys kintančios srovės elektriniai varikliai. Norint tiksliai valdyti sonaro kabelio ilgį, reikia prie gervės esantį variklį pakeisti į greitą ir tiksliai valdomą nuolatinės įtampos variklį, kartu su poslinkį matuojančiu skaitmeniniu potenciometru. Prie sistemos variklis jungiamas per lėtinančią pavarą.

Laivo judesius fiksuojantys jutikliai bus įrengiami laive, kuo arčiau gervės viršūnės. Jutiklių sistemą sudaro trijų ašių akselerometras ir trijų ašių giroskopas, siekiant padinti nuskaitytų duomenų tikslumą sistema gali būti papildyta papildomais akselerometrais. Sistema sukurta remiantis (S. Kuchler et al, 2011) darbuose atliktais tyrimais. Manoma, kad tokia sistema nebus tokia tiksli kaip sistemos su stabilizuota platforma.

Todėl siekiant sumažinti sistemos paklaidas, gali būti taikomi keli optimizacijos būdai.

Pati svarbiausia užduotis, kurią būtina atlikti yra matavimų sistemos optimizavimas. Pagrindiniai sistemos optimizavimo būdai:

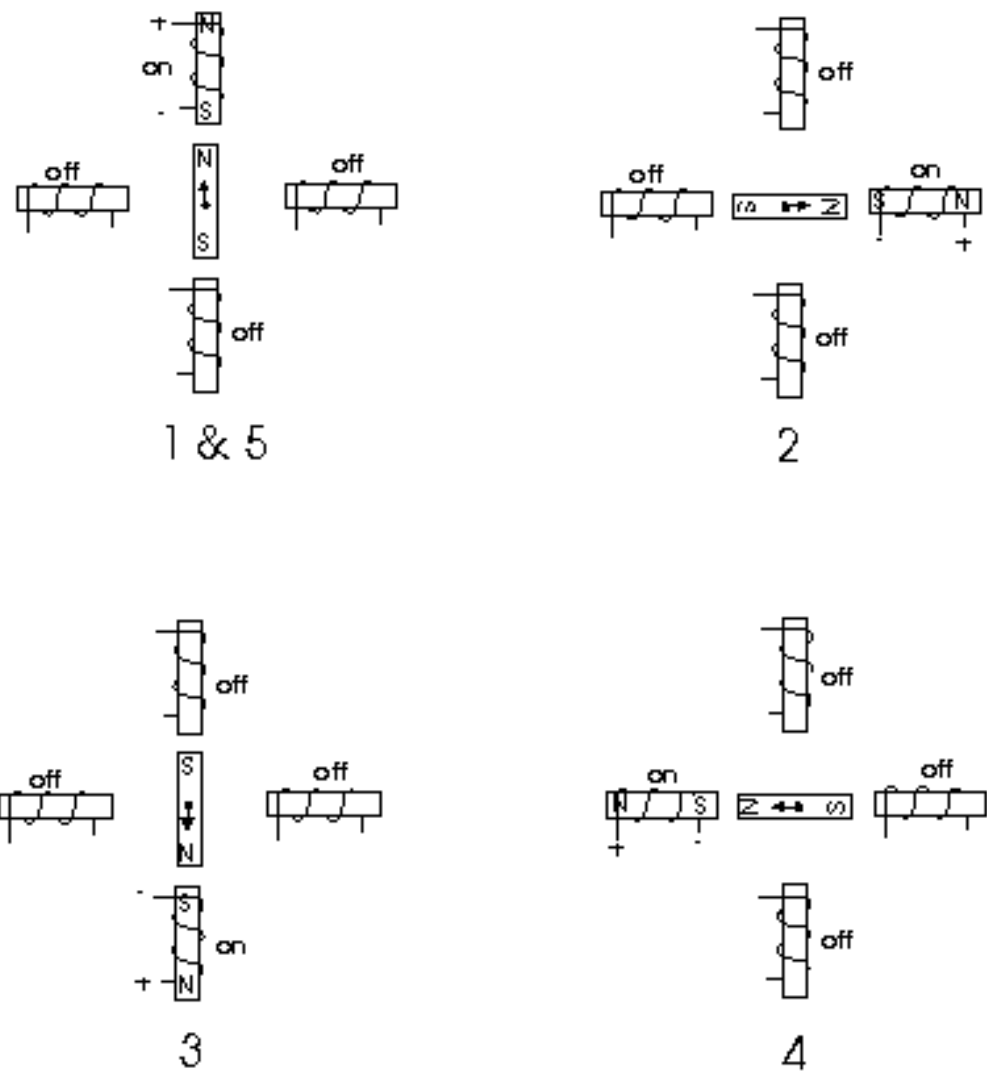
- Tikslėsių jutiklių panaudojimas;
- Specializuoto, duomenų surinkimui skirto valdiklio naudojimas;
- Jutiklių masyvų naudojimas;
- Skirtingų jutiklių parametrų apjungimas.

Optimizavus matavimų sistemą galima atnaujinti informaciją apie pagrindinius sistemos parametrus kiekvieną kartą laivui pasiekus bangos keterą. Taip būtų palaikomas pastovus sistemos aukštis. Siekiant švelniai grąžinti sistemą į pradinį gylį, viena ar kelios bangos gali būti kompensuojamos nepilnai. Taip sistema būtų gražinama į reikiamą padėtį, o sonaras būtų paveiktas labai mažų trikdžių.

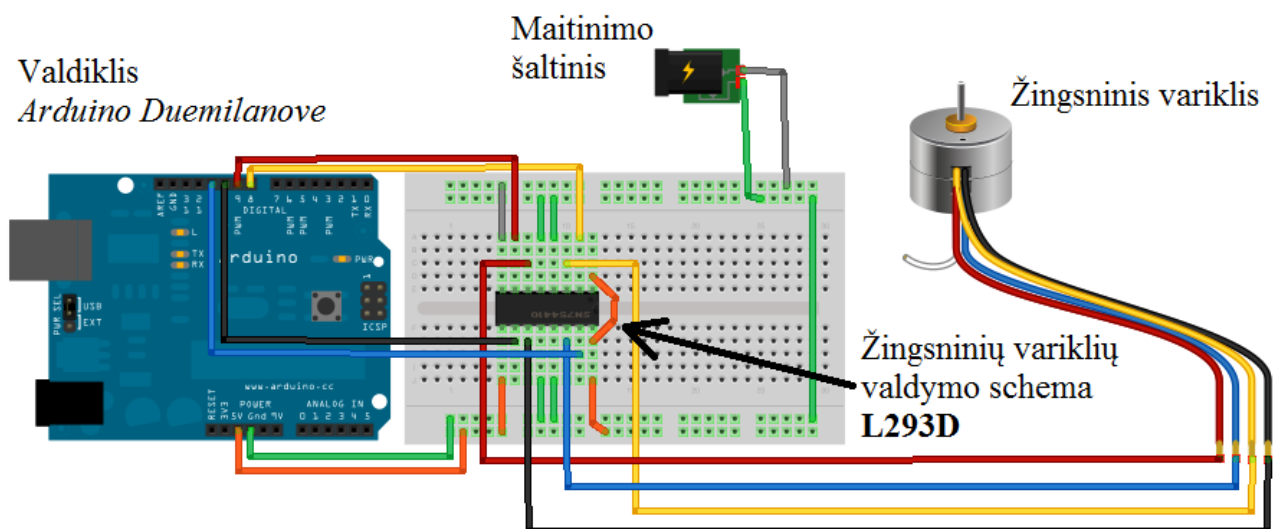
5.3.1 Sistemos prototipas

Siekiant tinkamai išbandyti sukurtus algoritmus prototipus. Buvo pagamintas prototipas, imituojantis realios sistemos darbą. Sistemai įgyvendinti panaudotas valdiklis *Arduino Duemilanove*, akselerometras ADXL 345, žingsninių variklių valdymo schema L293D (72 pav.), žingsninis variklis. Sistemai naudojamas 12V maitinimo šaltinis.

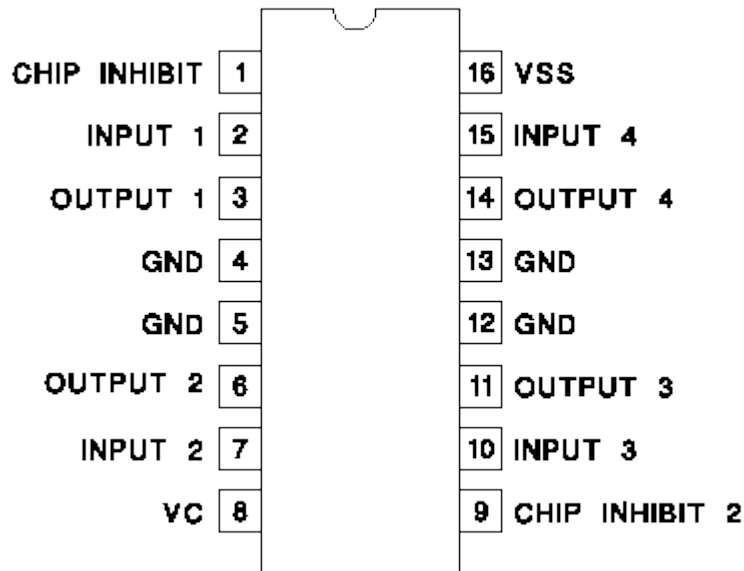
Sistemos paskirtis – testavimo įranga išbandyti kuriamus algoritmus. Naudojamas žingsninis mažos galios dviejų polių variklis. Tokio tipo variklių veikimo principas parodytas 70 paveiksle. Keičiant į apviją paduodamą įtampą variklis vienu žingsniu pasukamas.



69 pav. Dviejų polių žingsninio variklio veikimo principas (Pawlak A. M., 2006)



70 pav. Bendras sistemos vaizdas (www.arduino.cc)



71 pav. Variklių valdiklis L293D (Texas Instruments, 2007)

14 lentelė. Sistemai parinkto variklio pagrindiniai parametrai

Žingsnių skaičius per apsisukimą, vnt	96
Maksimalus greitis aps/min	900
Nominali įtampa, V	12
Maksimali srovė, A	0,1

Visa sistema sujungiama laidais. Jungimo schema pavaizduojama 71 paveiksle. Sistemos valdikliui *Arduino Duemilanove* sukurtas kodas pateikiamas prieduose. Valdiklyje *Arduino Duemilanove* yra integruota tvarkyklė (angl. *driver*) žingsninių variklių valdymui. Programa galima keisti variklio greitį, matuojamą apsisukimais per minutę ir žingsnių skaičių. Žingsninių valdiklių valdymo schema *L293D* (72 pav.) yra neprogramuojama, ji valdoma į valdymo jungtis siunčiamais signalais. Sistemos testavimui buvo pasirinkta 70/256 g $\sim 2,68 \text{ m/s}^2$ paklaida. Tai reiškia kad sistema pradeda sukti variklį žemyn, kai sistemos akselerometras Z ašimi fiksuoja $9,81 + 2,68 = 12,49 \text{ m/s}^2$ ir didesnę pagreitį. Variklis pradedamas sukti žemyn, kai fiksuojamas $9,81 - 2,68 = 7,13 \text{ m/s}^2$ ir mažesnis pagreitis. Kai fiksuojamų pagreičių reikšmės tarp $7,13 \text{ m/s}^2$ ir $12,49 \text{ m/s}^2$ reikšmių, sistemos variklis yra išjungtas. Variklio pagrindiniai parametrai pateikiami 13 lentelėje.

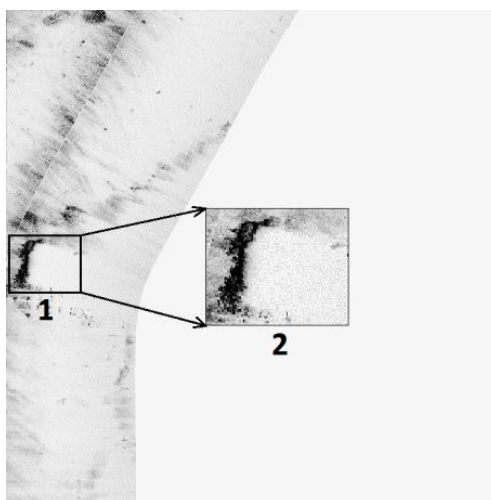
5.4. Automatinis objektų aptikimas sonaru nuskaitytuose vaizduose

Didžiojoje dalyje eksperimentų metu sonarais išgautų jūros dugno vaizdų yra paprastas jūros dugnas. Todėl norint šiuose vaizduose greitai rasti paskendusį objektą (pvz.: per audrą nuo krovininio laivo denio nuplautą ir į jūroje paskendusį konteinerį, laivą ar kitus ieškomus objektus)

buvo būtina peržvelgti labai daug tuščio jūros dugno vaizdų. Norint paspartinti tokių objektų paiešką, buvo sukurti du skirtingi atpažinimo metodai.

Sonaras neturi optinio jutiklio ir negali atskirti spalvų. Sonaru išgautuose vaizduose kiekvienam vaizdo taškui priskiriama reikšmė nuo 0 iki 255. 0 reiškia labai stipriai atspindintį tašką, sonaru išgautuose vaizduose toks taškas vaizduojamas juodai, 255 – visiškai akustinio signalo neatspindintį tašką, toks taškas sonaru išgautuose vaizduose vaizduojamas baltai. Stebėjimai rodo, kad paskendę objektai sonaru išgautuose vaizduose yra aiškiai matomi. Dažniausiai sonaru išgautuose vaizduose jie matomi kaip didelės tamsios ar net juodos zonos, už kurių yra didelis akustinis šešėlis. Šie objektai yra tamsūs, nes dažniausiai jie būna pagaminti iš sąlyginai gerai garsą atspindinčių medžiagų (metalo, stiklo pluošto ir pan.).

Ekperimentui buvo pasirinktas BPATPI sonaru *Edgetech 4100* išgautas vaizdas (73 pav.), su ryškiu objektu, kuris yra pažymėtas „1“, padidintas jo vaizdas pažymėtas „2“.



72 pav. Pasirinktas vaizdas (A. Andziulis ir kiti, 2011)

Pirmasis metodas yra skirtas stipriai akustinį signalą atspindinčių objektų paieškai. Metodo esmė – sonaru išgautuose vaizduose išryškinti ir aptikti tamsias sritis. Atrenkamos tik tinkamo dydžio zonos ir jos pažymimos, tolimesniems tyrimams (M. Honkanen, 2010, p. 25-32).

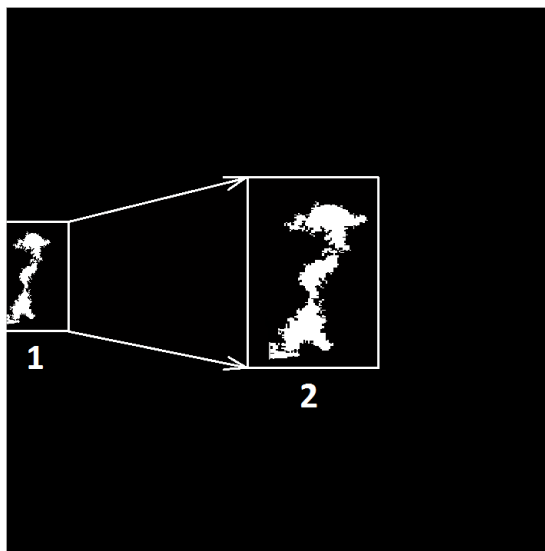
Šiuo metodu apdorotas vaizdas pateikiamas 74 paveiksle. Vaizde matyti didelė ryški zona. Tyrėjai gali sužinoti šios zonos koordinatas ir tirti originalų sonaru išgautą vaizdą. Šis metodas nėra skirtas rasti ar atpažinti tikslių apibrėžimą turinčius objektus. Jis skirtas tik potencialiai svarbių žemėlapiu zonų parinkimui, taip pagreitinant ir palengvinant objektų paiešką.

Sukurtos programos algoritmą sudaro keli pagrindiniai etapai:

- Duomenų nuskaitymas;
- Vaizdo glotninimas (išliejimas);
- Išlieto vaizdo atėmimas iš originalaus vaizdo;
- Pilkų tonų optimizavimas;

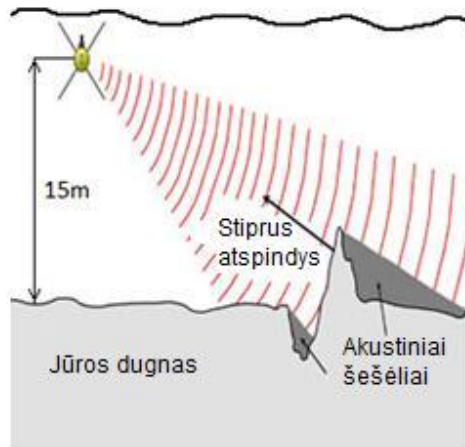
- Pilko vaizdo konvertavimas į juodai baltą vaizdą;
- Vaizdo išvalymas;
- Mažų segmentų pašalinimas.

Duomenų nuskaitymo metu vaizdas įkeliamas į programą ir paverčiamas į matricą, kurios dydis sutampa su paveikslėlio raiška. Šiuo atveju 712x712 vaizdo taškų paveikslėlis paverčiamas į 712x712 dydžio matricą (R. C. Gonzalez et al., 2006). Vaizdo glotninimo metu siekiama gauti kuo tolygesnį foną, išsaugant visas reikalingas detales. Tam įgyvendinti reikia išlieti įkeltą vaizdą, ir jį atimti iš neapdoroto vaizdo. Pilkų tonų optimizavimo metu, maksimalią (255) ir minimalią (0) reikšmes turinčių taškų paliekama tik po 1 %, visiems kitiems vaizdo taškams suteikiamos tarpinės reikšmės (0–255). Tai reikia atlikti siekiant išryškinti įvairių pilkumo tonų detales. Norint dar padidinti vaizdo kontrastą, bei palengvinti vaizdo padorojimo procesą sekančiuose etapuose, reikia panaikinti vaizdo pilkumą ir iš 0–255 padaryti tik 0–1, t.y. visiems vaizdo taškams suteikti juodos arba baltos spalvos reikšmes. Mažų segmentų pašalinimo etapo metu pašalinamos mažos juodos detalės iš didelių baltų plotų. Pašalinant detales neprarandama informacija apie objekto kontūrus. Šio etapo metu patikslinama informacija apie tikslus baltų zonų plotus. Paskutinio etapo metu pašaliname mūsų nedominančius mažus objektus, kurie dažniausiai atsiranda dėl signalo triukšmų arba dėl dugno paviršiaus struktūros (pvz.: akmenų). Tai būtina atlikti siekiant palikti tik mus dominančius didesnius objektus.



73 pav. Pirmuoju metodu apdorotas vaizdas (A. Andziulis ir kiti, 2011)

Antrasis metodas yra skirtas ne objektų, o jų metamų akustinių šešėlių paieškai. Metodo esmė – sonaru išgautuose vaizduose ieškoti visiškai baltų (spalvos reikšmė 255) taškų sancaupų. Tokie taškai vaizduose gali atsirasti tik tada, kai sonaras negauna jokio signalo iš tos srities, tai reiškia, kad sonaro signalas buvo atspindėtas dar prieš pasiekdamas šią zoną (75 pav.). Beveik visada tokie taškai sonaru išgautuose vaizduose reiškia akustinį šešėlį.

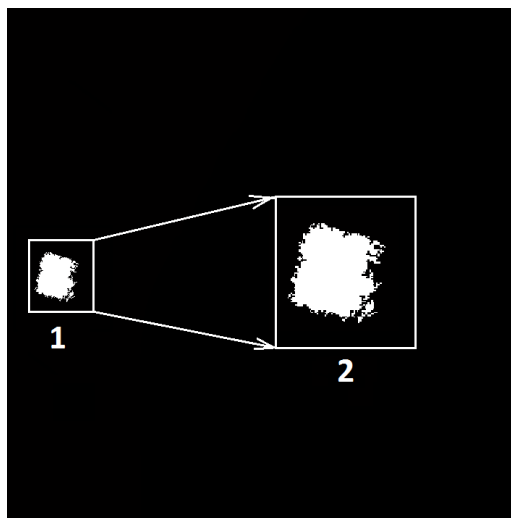


74 pav. Akustiniai šešėliai (A. Andziulis ir kiti, 2011)

Pagrindiniai vaizdų apdorojimo algoritmo etapai:

- Duomenų nuskaitymas;
- Pilko vaizdo konvertavimas į juodai baltą vaizdą;
- Vaizdo išvalymas;
- Mažų segmentų pašalinimas.

Metodo esmė – ieškoti akustinių šešėlių, kuriuos yra daug lengviau išskirti iš bendro vaizdo dėl vienodų vaizdo taškų reikšmių (255). Šis metodas buvo sukurtas itin greitam vaizdu apdorojimui, siekiant atlikti paskendusį objektą. Duomenys apdorojami tokiais pat etapais kaip ir pirmajame metode, tik naudojamos kitokios koeficientų reikšmės ir praleidžiami vaizdo glotninimo, išlieto vaizdo atėmimo iš originalaus vaizdo ir pilkų tonų optimizavimo etapai (S. Jayaraman, 2009, p. 747). Šiuo metodu apdorotas vaizdas pateikiamas 76 paveiksle.



75 pav. Antruoju metodu apdorotas vaizdas (A. Andziulis ir kiti, 2011)

Metodų algoritmai pritaikyti programai *MatLab* pateikiami 15 lentelėje.

15 lentelė. Metodų algoritmai programai *MatLab*

Pirmojo metodo duomenų apdorojimo algoritmas	Antrojo metodo duomenų apdorojimo algoritmas
<pre><i>I = imread(file location); backg = imopen(I, strel('disk',4)); I2 = I - backg; I3 = imadjust(I2); bw = im2bw(I3,0.98); g = imfill(bw, 'holes'); bw2 = bwareaopen(g, 700); imshow(bw2);</i></pre>	<pre><i>I = imread('file location'); bw = im2bw(I,0.985); bw2 = bwareaopen(bw, 700); g = imfill(bw2, 'holes'); imshow(g);</i></pre>

5.4.1 Pagrindiniai metodų skirtumai

Abiejų aprašytų metodų paskirtis yra vienoda – ieškoti reikiamų objektų, tačiau tikslo siekiama visiškai skirtingais būdais. Apdorojant vaizdus pirmuoju metodu kiekvieną kartą tektų parinkinėti pagrindinių programos parametrų skaitines reikšmes, jų dydžiai labiausiai priklauso nuo dugno struktūros tiriamoje teritorijoje. Taip pat šiam metodui reikia nemažai skaičiavimo resursų, todėl atliekant paiešką didelėje teritorijoje duomenų apdorojimas gali užtrukti. Antruoju metodu duomenys apdorojami gerokai greičiau, pagrindinių parametrų reikšmės yra daug universalesnės, dėl pastovios ieškomų objektų – akustinių šešėlių, vaizdo taškų reikšmių (255). Šiuo metodu lengviau aptikti objektus kurie, dėl paviršiaus struktūros arba medžiagos iš kurios yra pagaminti, blogai atspindi akustinį signalą ir pirminiame vaizde nėra labai ryškiai matomi. Labai svarbus metodo privalumas – jis gali aptikti baltas zonas šviesiame fone, tą sunku padaryti net kai tyrėjas tiria sonaru išgautus vaizdus be pagalbinės programinės įrangos. Šio metodo didžiausias trūkumas yra susijęs su akustinio šoninės apžvalgos sonaro veikimo specifika. Kuo objektas yra arčiau sonaro, tuo mažesnis jo metamas akustinis šešėlis (75 pav.). Kitas trūkumas – jei ieškomas objektas yra mažai iškilęs virš dugno, jo akustinis šešėlis gali būti palaikytas triukšmu ir jo aptikti nepavyks.

Abiejų metodų darbo sparta buvo bandoma skirtingais kompiuteriais (16 lentelė). Pagrindinis eksperimento uždavinys – patikrinti kuriuo metodu apdorojant vaizdus galima greičiau gauti rezultatą. Eksperimentas atliktas naudojant 73 paveikslą. 16 lentelėje pateikiami rezultatai, gauti trimis skirtingais kompiuteriais.

16 lentelė. Duomenų apdorojimo greičiai

Kompiuterio tipas	Procesorius	Procesoriaus branduolių skaičius	Darbinė atmintis	Vidutinis duomenų apdorojimo laikas pirmuoju metodu, s	Vidutinis nuokrypis	Vidutinis duomenų apdorojimo laikas antruoju metodu, s	Vidutinis nuokrypis
Stalinis	Pentium, 2.8GHz	1	768MB	0,38	0,01	0,26	0,01
Stalinis	Core2, 2.5 GHz	4	4GB	0,1	0,02	0,07	0,01
Nešiojamasis	Turion, 1.8 GHz	2	3GB	0,24	0,01	0,12	0,01

Kiekvienu kompiuteriu testas buvo paleistas po 10 kartų. 16 lentelėje pateikiamos vidutinės reikšmės. Rezultatai buvo labai pastovūs. Testams atlikti naudota 32-bit Matlab 2010b programinė įranga. Rezultatai parodė, kad vaizdus apdorojant antruoju metodu rezultatas gaunamas iki dviejų kartų greičiau nei vaizdus apdorojant pirmuoju metodu. Antruoju metodu vaizdų apdorojimas vyksta greičiau naudojant visus testo metu naudotus kompiuterius. Skirtumai tarp vaizdų apdorojimo metodų gali padidėti naudojant daugiau vaizdo taškų turinčius vaizdus. Naudojant labai didelius vaizdus, siūloma juos suskaidyti į mažesnes zonas ir jas apdoroti po vieną.

Atliekant paiešką sonaru išgautuose vaizduose, darbo išvadose siūloma naudoti abu metodus, nes abu metodai turi savų trūkumų ir privalumų. Jei reikia kuo greitesnės paieškos siūloma pirmą kartą vaizdus apdoroti antruoju metodu, jei rezultatas netenkina pakartoti vaizdų apdorojimą pirmuoju metodu.

5.5. Skyriaus išvados

Eksperimentinio tyrimo rezultatai rodo, kad visos skyriuje aprašytos sistemos turi savų trūkumų ir privalumų. Dirbant gilesniuose jūros plotuose, sonaro sistemos papildymas svoriu yra neišvengiamas. Tačiau, tokios sistemos efektyvumas sekliuose vandenyse yra nežymus. Abi mechaniškai sonarą stabilizuojančios sistemos turi svarių trūkumų ir privalumų. Sistema naudojanti gervę pranašesnė tuo, kad naudojami pagrindiniai prietaisai jau įrengti laive, be to galima nesunkiai reguliuoti sonaro panardinimo gylį. Šios sistemos pagrindinis trūkumas tas, kad sistemos dinamiškai apskaičiuoti naudojami laive įrengti jutikliai.

Parodyta, kad stabilizuojančios platformos sukūrimui naudojama uždaro tipo didelio tikslumo elektrinė pavara leidžia naudoti mažiau matematinių skaičiavimų, jos naudojama pavara yra didesnio tikslumo, tačiau naudojant šią sistemą plaukimo metu sudėtinga reguliuoti sonaro panardinimo gylį. Parodyta, kad sukurta sistema gali būti sėkmingai pritaikyta ne tik laivo

tempiamų prietaisų stabilizavimui, bet ir prietaisų, naudojamų vandens paviršiuje (pvz.: spindulinis sonaras, echolotas ir kt.).

Programinis vaizdo stabilizavimas gali būti naudojamas tik esant nedideliam bangavimui arba kaip papildoma priemonė kartu su mechaninio stabilizavimo sistemomis (A. Andziulis ir kiti, 2011).

Sukurti vaizdo atpažinimo metodai yra tinkami paprastai ir greitai pirminei objektų paieškai šoninės apžvalgos sonarais išgautuose vaizduose.

6. IŠVADOS

1. Atlikta Lietuvos ir užsienio mokslininkų mokslinių publikacijų aprašančių darbų vykdymą atviroje jūroje apžvalga.
2. Nustatyta, kad didžiausią įtaką kokybiškam jūros dugno vaizdų nuskaitymui šoninės apžvalgos sonaru daro jūros bangavimo įtakojami laivo švytavimai.
3. Sukurta dinaminė šoninės apžvalgos sonaro ir jį tempiančio laivo judesių stebėjimo sistema. Naudojant sistemą sėkmingai atlikti matavimai.
4. Parinkti 3 pagrindiniai šoninės apžvalgos sonarais išgaunamų vaizdų kokybės gerinimo metodai. Kuriuos panaudojus kuriant šoninės apžvalgos sonaro sistemos projektavimui, tikimasi gauti geriausius rezultatus. 2 prototipai sonarą stabilizuoja pasitelkdami mechatroninės priemonės, 1 – programines. Sukurtas sonaro sistemos matematinis modelis, kurio lygčių sistemoje išskaičiuojami svarbiausi sistemos parametrai. Pagaminta įranga skirta prototipų testavimui. Jūrinių tyrimų rezultatai parodo, kad pigiausiai sonaro sistema stabilizuojama naudojant programinį sonaru išgaunamų vaizdų stabilizavimą. Patogiausia naudoti sistemą, kuri stabilizavimui naudoja laive įrengtą gervę. Efektyviausiai jūros bangavimą slopinanti sistema naudoja uždaro tipo didelio tikslumo elektrinė pavarą.
5. Sukurti 2 automatiniai objektų paieškos metodai pagreitinantys objektų paiešką sonarais surinktuose vaizduose. Darbo rezultatai pristatyti konferencijoje *Transport Means 2011*.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Andrea Trucco, Matteo Garofalo. Processing and Analysis of Underwater Acoustic Images Generated by Mechanically Scanned Sonar Systems. IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENT AND MEASUREMENT, 2009, VOL 58, NO. 7, JULY, p. 2061–2071.
2. Buckham B., Nahon M., Seto M., Zhao X., Lambert C. 2003. Dynamics and control of a towed underwater vehicle system, part I: model development. Ocean Engineering, vol. 30, p. 453–470.
3. Čerka J. 2009. Laivo Hidroaeromechanika. Klaipėda. Klaipėdos Universiteto Leidykla.
4. EDGETCH side scan sonar system [interaktyvus]. EdgeTech, 4 Little Brook Road West Wareham, MA. [žiūrėta 2012–04–05]. Prieiga per internetą: <<http://www.edgetech.com/edgetech/gallery/category/side-scan-sonar-systems>>.
5. Edward O. Becher, Warren L. J. Fox, William H. Hanot. Dual-Frequency Acoustic Camera: A Candidate for an Obstacle Avoidance, Gap-Filler, and Identification Sensor for Untethered Underwater Vehicles. Applied Physics Laboratory, University of Washington, 2002.
6. Gečys S.; Kalvaitis A.; Smolskas P. 2010. Elektromechanika. Kaunas. Technologija.
7. Geleževičius V. A. 2008. Mechatroninės sistemos. Vilnius. VPU Leidykla.
8. Jeerasuda Koseeyaporn, Poolsak Koseeyaporn. 2005. KALMAN FILTERING ADAPTIVE STABILIZATION OF ROBOT MANIPULATOR UNDER SEA WAVE INTERFERENCE. Proceedings of 2005 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems. p. 689–692.
9. Klaipėdos Universiteto Baltijos pajūrio aplinkos tyrimų ir planavimo institutas. Duomenų fondai. [žiūrėta 2012–05–10].
10. Kontrauskas P. 2001. Sinchroninės elektros mašinos. Vilnius. Technologija.
11. Kuchler S., Mahl T., Neupert J., Schneider K., Sawodny O. 2010 Active Control for an Offshore Crane Using Prediction of the Vessel's Motion. TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, vol. 16, No. 2, p. 297–309.
12. L293D Datasheet. 2007. Texas instruments, Dalas.
13. Lambert C., Nahon M., Buckham B., Seto M. 2003. Dynamics and control of towed underwater vehicle system, part II: model validation and turn maneuver optimization. Ocean Engineering, vol. 30, p. 471–485.
14. Markus Honkanen, Hannu Eloranta, et al. Digital imaging measurement of dense multiphase flows in industrial processes. Flow Measurement and Instrumentation, 2010, no. 21, p.25–32.

15. Oficiali Bremeno Universiteto jūrinių tyrimo centro interneto svetainė [interaktyvus]. [žiūrėta 2012-05-10]. Prieiga per internetą <<http://www.marum.de/Method.html>>.
16. Oficiali Klaipėdos uosto interneto svetainė [interaktyvus]. [žiūrėta 2012-05-20]. Prieiga per internetą: <<http://www.portofklaipeda.lt/>>.
17. Oficialus jūros dugno skenavimus atliekančios kompanijos “Aml Oceanographic” puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2012-05-10]. Prieiga per internetą: <http://www.amloceanographic.com/Background/By_Technology/Multi-Beam_System.aspx>.
18. Oficialus nacionalinės vandenynų ir klimato stebėjimo tarnybos tinklalapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2012-05-10]. Prieiga per internetą: <<http://www.csc.noaa.gov/benthic/mapping/techniques/sensors/subbottom.htm>>.
19. P. Heidenreich, L.A.Cirillo, et al.. Morphological image processing for FM source detection and localization, Signal Processing, 2009, no. 89, p. 1070–1080.
20. Pawlak A. M.. 2006. Sensoes and actuators in mechatronics. Taylor & Francis.
21. Penny Probert Smith, Konstantinos Zografos. Sonar for recognizing the texture of pathways, Robotics and Autonomous Systems, 2005, no. 51, p. 17–28.
22. Peterson R. S., Nguyen T. C. , Rodriguez R. R. 1994. Motion Minimization Of AUVs For Improved Imaging Sensor Performance Beneath A Seaway. Autonomous Underwater Vehicle Technology, p. 247 – 254.
23. Profilinių sonarų gamintojo interneto svetainė [interaktyvus]. [žiūrėta 2012-05-10]. Prieiga per internetą: <<http://www.geophysix.no/hXGXyUg7LSZg.9.idium>>
24. R. J. M. Lloyd, Seakeeping Ship Behaviour in Rough Weather. 1998 New York: Ellis Horwood.
25. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins. Digital Image Processing using MATLAB. New York, 2006.
26. S Jayaraman. Digital Image Processing. Tata McGraw–Hill, 2009, p. 747. Andziulis A., Gaigals G., Lenkauskas T., Visakavičius E., Jakovlev S., Eglynas T., Beniušis V. 2011. Comparison of two image processing techniques for objects detection on the sea floor. Proceedings of 15th International Conference. Transport Means. p. 62–64.
27. Sawodny O., Kuchler S. 2010. Nonlinear Control of an Active Heave Compensation System with Time–Delay. International Conference on Control Applications, p. 1313–1318.
28. Smilgevičius A. 2005. Automatikos mikromašinos. Vilnius: Technika.
29. Stable orientation digital imu 6dof Arduino. [Interaktyvus], [žiūrėta 2012-04-05] Prieiga per Inernetą: <<http://bildr.org/2012/03/stable-orientation-digital-imu-6dof-arduino/>>.
30. Stonkus V. Laivo teorija. 2006. Klaipėdos universiteto leidykla.
31. T. Fossen, Guidance and Control of Ocean Vehicles. 1994. New York: Wiley.
32. Teixeira F. C., Aguiar A. P., Pascoal A. 2010. Nonlinear adaptive control of an underwater towed vehicle. Ocean Engineering, vol. 37, p. 1193–1220.

33. Townsend N.C., Murphy A.J., Shenoi R.A. 2007. A new active gyrostabiliser system for ride control of marine vehicles. *Ocean Engineering*, vol. 34, p. 1607–1617.
34. Vaičiulis D. Variklio parinkimas. KTU: Paskaitų konspektas [interaktyvus]. [žiūrėta 2012 m. Balandžio 21 d.]. Prieiga per Internetą: <<http://stud.ppf.ktu.lt/vaiciulis/paskaitos/me2/me2-03.pdf>>.
35. Wenlin Y., Zhuying Z., Aiqun Z. 2008. Research on an Active Heave Compensation System for Remotely Operated Vehicle. *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, p. 407–410.
36. Yet-Chung Chang, Shu-Kun Hsu, Ching-Hui Tsai. 2010. SIDESCAN SONAR IMAGE PROCESSING: CORRECTING BRIGHTNESS VARIATION AND PATCHING GAPS. *Journal of Marine Science and Technology*, vol. 18, No. 6, p. 785–789.

PRIEDAI

Inžinieriaus Tomo Lenkauskas mokslinės publikacijos

1. 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. Proceedings of 15th International Conference. Transport Means. ISSN 1822-296X, 2011.
2. A. Andziulis, J. Harja, T. Eglynas, S. Jakovlev, V. Beniušis, **T. Lenkauskas**. Application of speed correction algorithm for trains monitoring in an intelligent transport control system. Proceedings of 15th International Conference. Transport Means. ISSN 1822-296X, 2011.
3. S. Jakovlev, A. Andziulis, **T. Lenkauskas**. Research of Intelligent Transport System Application Possibilities in Intermodal Containers Transportation Area. Proceedings of 15th International Conference. Transport Means. ISSN 1822-296X, 2011.
4. **T. Lenkauskas**, D. Stanelytė, A. Andziulis. Informacinės sistemos uosto akvatorijos dugno tyrime. Technologijos mokslo darbai vakarų Lietuvoje. ISSN 1822-4652, 2010.