

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

Arūnas Venckus

OBJEKTO GEOMETRIJOS ĮVERTINIMAS PAGAL KAMEROS SU
PAPILDOMAIS JUTIKLIAIS VAIZDUS
Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. G. Daunys

ŠIAULIAI, 2008

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTRONIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

doc. dr. G. Daunys

2008

OBJEKTO GEOMETRIJOS ĮVERTINIMAS PAGAL KAMEROS SU
PAPILDOMAIS JUTIKLIAIS VAIZDUS
Magistro darbas

Recenzentas

ŠU Technologijos fakulteto Elektronikos katedros

prof. V. Laurutis

2008

Vadovas

doc.dr.G. Daunys

2008

Atliko

RM6 gr. stud.

A. Venckus

2008

SANTRAUKA

Venckus A., Objekto geometrijos įvertinimas pagal kameros su papildomais jutikliais vaizdus: Signalų technologijos magistro darbas/mokslinis vadovas doc. dr. G. Daunys; Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas, Elektronikos katedra, – Šiauliai, 2008. – 61 p.

Registruojant (fotografuojant) objektus, dėl netinkamos vaizdo kameros padėties ar nepakankamos judėjimo erdvės gaunami vaizdo iškreipimai. Tokie vaizdų iškreipimai vadinami sukimosi ir perspektyvos iškreipimais. Šio darbo tikslas – ištirti kaip tiksliai, panaudojant vaizdo kameros posvyrio kampų reikšmes ir atstumą iki registruojamo objekto, galima atstatyti iškreiptą vaizdą. Vaizdo kameros posvyrio kampų (krypavimo ir nuolydžio) matavimui, pritaikomas trijų ašių analoginis akcelerometras, o atstumui matuoti – ultragarsinis atstumo jutiklis. Pasuktų vaizdų atstatymui naudojami sukonstruoto vaizdo kameros posvyrio kampų matuoklio duomenys. Kaip alternatyvi priemonė, vaizdo pasukimo kampui nustatyti, naudojama „radon“ transformacija. Tyrimai parodė, kad vaizdų atstatymui geriau naudoti vaizdo kameros posvyrio kampų matuoklio išmatuotus krypavimo kampus, nes „radon“ transformacija negalima nustatyti sudėtingų vaizdų pasukimo kampo. Vaizdo perspektyvos iškreipimų atstatymui, pagal „pinhole“ (mažos skylutės) kameros modelį, kuris dažniausiai naudojamas robotų regoje, buvo sudarytas matematinis modelis. Šis modelis, lyginant su vaizdų atstatymo pagal keturis objekto kampus metodu, tinka įvairesnių formų iškreiptiems vaizdams atstatyti. Vaizdų atstatymui pasitelktas *MathWorks, Image Processing* paketas. Atstatytų vaizdų palyginimui su originaliu, skaičiuojamas dvimatis koreliacijos koeficientas tarp dviejų to paties dydžio vaizdo matricių.

SUMMARY

Venckus A., Reconstruction of Object Geometry using Camera with Additional Sensors: Master thesis of signal technology/research advisor Assoc. Dr. G. Daunys; Siauliai University, Faculty of Technology Department of Electronics, – Siauliai, 2008. – 61 p.

Image distortions may appear because of inappropriate position of the camera or because of an insufficient space movement while taking pictures of objects. These kinds of image distortions are called rotation and perspective distortions. The aim of the work is to investigate how the camera tilt meanings and distance to the object could help to restore the image distortions. To measure camera tilt angles (roll and pitch angles) the three axis analogical accelerometer is used, and to measure the distance - ultrasonic range finder. The measurements of designed camera tilt angles device data is used in order to restore rotated images. As an alternative method for setting roll angle, the “radon” transformation is used. The researches have showed that it is more useful to use the measurements of camera roll angles, because “radon” transformation is not capable to identify rotation angles of elaborate images. To set image perspective distortion rectification according to “pinhole” camera model, which is used in robot vision, the mathematical model was made. This model compared with image restoration according to four object corners method is more suitable for various forms of image distortions. To restore image *MathWorks, Image Processing* batch was used. The comparison between original and restored image was found computing the two-dimensional correlation coefficient between image matrices of the same size.

TURINYS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IŽANGA..... | 9 |
| 2. VAIZDŲ IŠKRAIPYMAI IR JŲ ATSTATYMO METODAI | 11 |
| 2.1. Vaizdų iškreipimų korekcija naudojant specialius objektyvus | 11 |
| 2.2. Vaizdo atstatymas pagal automatiškai nustatytą posūkio kampą | 12 |
| 2.3. Perspektyvos iškreipimų atstatymas pagal objekto keturis kampus..... | 14 |
| 2.4. Išvados | 16 |
| 3. GEOMETRINĖS TRANSFORMACIJOS IR PAVEIKSLĖLIŲ REGISTRAVIMAS..... | 17 |
| 3.1. Geometrinės erdvinės transformacijos | 17 |
| 3.2. Geometrinės operacijos ir jų taikymas vaizdams..... | 18 |
| 4. PAVEIKSLŲ IŠKRAIPYMŲ IR INVERSIJOS KOREKCIJA NUSTATANT KAMEROS POSVYRĮ..... | 21 |
| 4.1. Akcelerometro panaudojimas posvyrio matavimui..... | 21 |
| 4.2. Pagreičio perskaičiavimas į pasvirimą | 22 |
| 4.3. Tiesinių akcelerometrų naudojimas posvyrio kampui nustatyti | 23 |
| 4.4. Nulio nustatymas, paklaidų atsiradimas | 23 |
| 4.5. Metodai kaip nustatyti atsvaros įtampą (įtampą prie 0g) | 24 |
| 4.6. Posvyrio matavimo metodai | 25 |
| 4.6.1. Posvyrio matavimas naudojant vienos ašies akcelerometrą | 25 |
| 4.6.2. Posvyrio matavimas naudojant dviejų ašių akcelerometrą | 27 |
| 4.6.3. Posvyrio matavimas naudojant trijų ašių akcelerometrą | 28 |
| 4.7. Išvados | 29 |
| 5. ERDVINĖS KOORDINATĖS | 30 |
| 6. POSVYRIO KAMPŲ IR ATSTUMO MATUOKLIO PROJEKTAVIMAS | 32 |
| 6.1. Akcelerometro pritaikymo sritys..... | 32 |
| 6.2. Posvyrio matuoklio struktūrinės ir elektrinės principinės schemos sudarymas..... | 32 |
| 6.3. Posvyrio kampų matavimas akcelerometru | 34 |
| 6.4. Atstumo matavimas ultragarsiniu atstumo jutikliu | 35 |
| 7. VAIZDŲ ATSTATYMO METODIKA..... | 37 |
| 7.1. Vaizdų atstatymas sukant kamerą apie X ašį..... | 38 |
| 7.1.1. Vaizdo atstatymas pagal „radon“ transformacijos nustatytą posūkio kampą | 38 |
| 7.1.2. Vaizdo atstatymas pagal išmatuotą posūkio kampą | 39 |
| 7.1.3. Atstatyto ir originalaus vaizdo palyginimo metodas | 39 |
| 7.2. Vaizdų atstatymas sukant kamerą aplink Y ašį..... | 40 |
| 7.2.1. Perspektyvos iškreipimų atstatymo matematinis modelis | 40 |
| 7.2.2. Perspektyvos iškreipimų atstatymas pagal keturis objekto kampus..... | 42 |
| 7.3. Išvados | 43 |
| 8. TYRIMO REZULTATAI | 44 |
| 8.1. Posvyrio matuoklio tyrimas | 44 |
| 8.2. Vaizdų atstatymo rezultatai sukant kamerą apie X ašį..... | 47 |
| 8.3. Vaizdų atstatymo rezultatai sukant kamerą apie Y ašį..... | 49 |
| 8.3.1. Tyrimo rezultatų, gautų taikant matematinį modelį, apžvalga..... | 49 |
| 8.3.2. Tyrimo rezultatų, gautų atstatant vaizdus pagal keturis objekto kampus, apžvalga | 51 |
| 8.4. Išvados | 52 |
| 9. PROGRAMINĖS ĮRANGOS ALGORITMŲ STRUKTŪRA..... | 54 |
| 9.1. Programinė įranga mikrovaldikliui | 54 |
| 9.2. Programinė įranga kompiuteriui | 57 |
| IŠVADOS IR SIŪLYMAI | 59 |
| LITERATŪRA | 60 |
| PRIEDAI | |
| 1 priedas. USB-to-UART tiltas. Elektrinė principinė schema..... | 62 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2 priedas. Vaizdo kameros posvyrio kampų ir atstumo matuoklis. Elektrinė principinė schema.. | 63 |
| 3 priedas. Spausdinto montažo plokštės elementų vaizdas iš viršaus. Surinkimo brėžinys..... | 64 |
| 4 priedas. Spausdinto montažo plokštės vaizdas iš viršaus. Montažinė plokštė..... | 65 |
| 5 priedas. Spausdinto montažo plokštės elementų vaizdas iš apačios. Surinkimo brėžinys..... | 66 |
| 6 priedas. Spausdinto montažo plokštės vaizdas iš apačios. Montažinė plokštė..... | 67 |
| 7 priedas. USB-to-UART tilto specifikacija. Pirma dalis..... | 68 |
| 8 priedas. USB-to-UART tilto specifikacija. Antra dalis..... | 69 |
| 9 priedas. Vaizdo kameros posvyrio kampų ir atstumo matuoklio specifikacija. Pirma dalis..... | 70 |
| 10 priedas. Vaizdo kameros posvyrio kampų ir atstumo matuoklio specifikacija. Antra dalis..... | 71 |
| 11 priedas. Kompaktinis diskas..... | 72 |

LENTELĖS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.1. Geometrinių transformacijų tipai | 18p. |
| 8.1.1. Tyrimo metu gauti duomenys, sukant posvyrio matuoklį apie Y ašį prieš laikrodžio rodyklę | 45p. |
| 8.1.2. Idealūs duomenys, sukant posvyrio matuoklį apie Y ašį prieš laikrodžio rodyklę | 46p. |
| 8.2.1. Sukant kamerą pagal laikrodžio rodyklę | 47p. |
| 8.2.2. Sukant kamerą prieš laikrodžio rodyklę | 47p. |
| 8.2.3. Sukant kamerą pagal laikrodžio rodyklę | 48p. |
| 8.2.4. Sukant kamerą prieš laikrodžio rodyklę | 48p. |
| 8.3.1.1. Tyrimo rezultatai, sukant vaizdo kamerą apie Y ašį (pagal sudarytą matematinį modelį) | 50p. |
| 8.3.1.2. Optimizuojamų parametrų kitimo ribos | 50p. |
| 8.3.1.3. Rezultatai po duomenų optimizavimo, naudojant pasirinktus nuolydžio kampus | 50p. |
| 8.3.1.4. Rezultatai po duomenų optimizavimo, naudojant posvyrio matuokliu išmatuotus vaizdo kameros nuolydžio kampus | 51p. |
| 8.3.2.1. Vaizdo atstatymo pagal keturis objekto kampus, gauti tyrimo rezultatai | 51p. |
| 8.3.2.2. Koreliacijos koeficientų pasiskirstymas | 52p. |

PAVEIKSLAI

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 pav. Vaizdo kameros pasukimo kampo sukelti iškraipymai | 9p. |
| 2.1.1 pav. Perspektyvos iškraipymai, jų korekcija | 11p. |
| 2.1.2 pav. Lęšio aprėpiamo vaizdo zona | 12p. |
| 2.1.3 pav. Perspektyvą reguliuojantis objektyvas, a) su paslinktu lęšiu, b) su pakreiptu lęšiu | 12p. |
| 2.3.1 pav. Plokštuminis kameros modelis | 14p. |
| 3.2.1 pav. Trys pagrindinės geometrinės transformacijos | 18p. |
| 3.2.2 pav. Vaizdo mažinimo metodai | 20p. |
| 3.2.3 pav. Vaizdo didinimo metodai | 20p. |
| 4.1 pav. Projektoriaus (arba vaizdo kameros) posvyriai | 21p. |
| 4.4.1 pav. Akcelerometro perdavimo funkcija | 24p. |
| 4.4.2 pav. Paklaidų atsiradimas nustatant nulį | 24p. |
| 4.6.1.1 pav. Dviejų ašių akcelerometras su viena posvyrio ašimi..... | 25p. |
| 4.6.1.2 pav. Akcelerometro išėjimai (g 's) matuojant vienos ašies pokrypį nuo -90° iki $+90^\circ$ | 26p. |
| 4.6.2.1 pav. Posvyrio matavimui naudojamos dvi (dviejų arba trijų ašių) akcelerometro ašys | 27p. |
| 4.6.2.2 pav. Sinuso funkcija X išėjimo ir cosinuso funkcija Y išėjimo | 27p. |
| 4.6.2.3 pav. Elementari trigonometrija | 27p. |
| 4.6.2.4 pav. Kvadrantai (ketvirčiai) | 28p. |
| 4.6.3.1 pav. Posvyrio matavimas naudojant tris ašis | 29p. |
| 5.1 pav. Oilerio kampų sistema | 30p. |
| 6.2.1 pav. MMA7260Q akcelerometro jungimo schema | 32p. |
| 6.2.2 pav. Posvyrio matuoklio struktūrinė schema | 33p. |
| 6.3.1 pav. X ir Y ašių posvyriai Žemės paviršiaus atžvilgiu | 34p. |
| 6.4.1 pav. Garso bangos sklaidimo pavyzdys | 35p. |
| 6.4.2 pav. a) išmatuoto atstumo sklaida, oro temperatūrai kintant nuo $+1,89^\circ\text{C}$ iki $-21,58^\circ\text{C}$, b) išmatuoto atstumo kitimas laike | 36p. |
| 6.4.3 pav. a) išmatuotų atstumų sklaida, kintant oro temperatūrai nuo $+18^\circ\text{C}$ iki $+19,5^\circ\text{C}$, b) išmatuoto atstumo kitimas laike | 36p. |
| 7.1 pav. Vaizdo kameros su papildomais jutikliais karkasas | 37p. |
| 7.2 pav. Tiriamajame darbe naudotų natiurmortų vaizdai | 37p. |
| 7.1.1.1 pav. Iškreipto vaizdo atstatymo etapų struktūrinė schema | 38p. |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 7.2.1.1 pav. Objektų projektavimas vaizdo kameros jutiklyje | 40p. |
| 7.2.1.2 pav. Vaizdo jutiklio plokštumos padėtis vertikalios plokštumos atžvilgiu, pasukus kamerą aukštyn apie Y ašį | 41p. |
| 8.1.1 pav. Posvyrio matuoklio sukimas 360° kampu | 44p. |
| 8.1.2 pav. Akcelerometro pagreičio kitimo grafikai, sukant matuoklį apie Y ašį | 44p. |
| 8.1.3 pav. Akcelerometro pagreičio kitimo grafikai, sukant matuoklį apie X ašį | 45p. |
| 8.1.4 pav. Išėjimo įtampų priklausomybė nuo posvyrio kampu | 46p. |
| 8.2.1 pav. Koreliacijos koeficientų pasiskirstymo grafikai | 48p. |
| 8.2.2 pav. Koreliacijos koeficientų pasiskirstymo grafikai | 49p. |
| 8.3.2.1 pav. Koreliacijos koeficientų pasiskirstymas | 52p. |
| 9.1.1 pav. Pagrindinis programos algoritmas | 55p. |
| 9.1.2 pav. INTO pertraukties algoritmas | 55p. |
| 9.1.3 pav. USART pertraukties algoritmas | 55p. |
| 9.1.4 pav. $10\mu\text{s}$ impulso formavimas | 56p. |
| 9.1.5 pav. Laukimas | 56p. |
| 9.1.6 pav. Temperatūros skaičiavimas | 56p. |
| 9.1.7 pav. Atstumo skaičiavimas | 56p. |
| 9.1.8 pav. Siuntimo buferis | 56p. |
| 9.2.1 pav. Įtaiso kompiuterio programinės įrangos algoritmas | 58p. |

IŽANGA

Šiame darbe nagrinėjami vaizdo iškreipimų atstatymo metodai, naudojant vaizdo kameros posvyrio kampų matavimus ir vaizdų apdorojimo metodus.

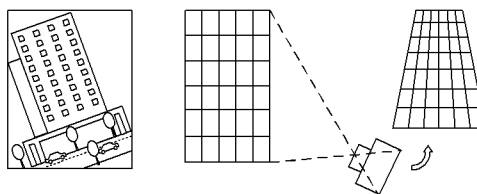
Darbo tikslas – sukurti ir patikrinti algoritmą iškreiptų vaizdų atstatymo metoduose naudojant vaizdo kameros posvyrio kampų reikšmes. Darbe apsiribosime vaizdo iškreipimais, kurie atsiranda sukant vaizdo kamerą apie jos X ir Y ašis, kur Z ašis nukreipta vertikaliai aukštyn, X ašis nukreipta kameros žiūrėjimo kryptimi, Y ašis statmena X ir Z ašims.

Darbo uždaviniai:

- susipažinti su esamomis priemonėmis, kurios naudojamos iškreiptų vaizdų atstatymui;
- išnagrinėti kaip tiksliai, naudojant kameros posvyrio kampų matavimus, galima atstatyti apie kameros X ašį ir Y ašį pasuktą vaizdą;
- taikant koreliacijos metodą, patikrinti atstatytų vaizdų tapatumą su neiškreiptais tų pačių objektų vaizdais;

Žiūrint į fotografijas, matosi vaizdo iškreipimai, kurie susiję su vaizdo kameros padėtimi erdveje. Fotografija – vaizdų išsaugojimo technologija, naudojant mechaninius, cheminius ar skaitmeninius metodus. Žodis kilęs iš graikų kalbos žodžių *phos* („šviesa“) bei *graphis* („teptukas“), kurie kartu reiškia piešimas šviesa.

Norint, kad fotografuojamas vaizdas tilptų į vaizdo kameros apimamo vaizdo rėmą, kai yra ribota asmens, registruojančio aplinkos vaizdą, judėjimo zona, ją reikia pasukti. Pasukimas gali būti dvejopas: pasukimas apie kameros X ašį ir pasukimas apie Y ašį.



1.1 pav. Vaizdo kameros pasukimo kampo sukelti iškreipimai

Sudėtingesnis atvejis kuomet vaizdo iškreipimai gaunami pasukus kamerą apie Y ašį, norint užregistruoti aukšto pastato, didelio paveikslu ar kito objekto vaizdą. Tuomet atsiranda taip vadinami perspektyvos iškreipimai. Jie susiję su tuo, kad vaizdo kameroje esanti vaizdo jutiklių matrica, kurioje registruojamas aplinkos vaizdas, atsiranda arčiau pastato apatinės dalies. Atrodo, kad pastatas į viršų siaureja. Jo apatinė dalis yra platesnė už viršutinę, gaunamas tarsi griūvančio pastato efektas. Kad išvengti architektūros fotografavimui perspektyvos iškreipimų, naudojami tilt-shift objektyvai.

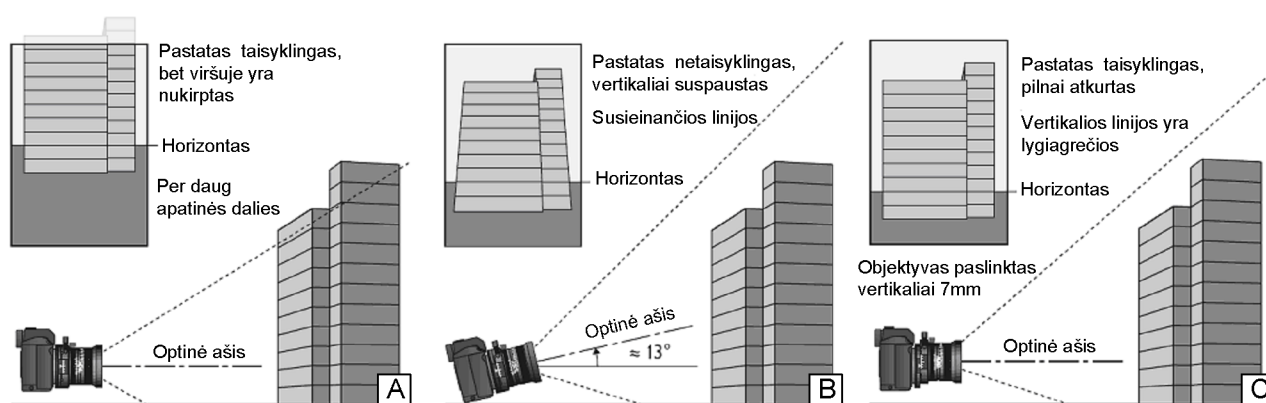
Darbo aiškinamąjį raštą sudaro keletas skyrių, kuriuose apžvelgiamos vaizdų korekcijai naudojamos geometrinės transformacijos, kameros posvyrio kampų matavimo metodai, sudarytų korekcijos modelių tyrimai, gautų rezultatų analizė. Darbas baigiamas išvadomis ir siūlymais.

2. VAIZDŲ IŠKRAIPYMAI IR JŲ ATSTATYMO METODAI

Apžvelgsime metodus, taikomus iškraipytiems vaizdams atstatyti. Nagrinėsime metodus, kai vaizdo iškraipymai yra susiję su vaizdo kameros horizontalia ir vertikalia pasukimo kryptimi. Iškraipymai gaunami vaizdo kamerą pasukus vertikaliai į viršų arba į apačią, vadinami perspektyvos iškraipymais. O pasukimas horizontaliai – sukimo iškraipymais.

2.1. Vaizdų iškraipymų korekcija naudojant specialius objektyvus

Fotografijoje perspektyvos iškraipymai yra dažnai pasitaikanti problema. Tai ypač matoma paveikslėliuose, kuriuose dominuoja vertikalios linijos ir figūros. Iškraipymai atsiranda, kai kameros vaizdo sensorius (židinio plokštuma) nėra lygiagretus fotografuojamų objektų paviršiams arba dėl to, kad vaizdo sensorius nėra fotografuojamo objekto vidurio taško aukštyje. Kuomet vaizdo kamera pakreipiama į viršų, objekto vertikalios linijos susiaureėja paveikslo viršuje, o pakreipus į apačią, paveikslo apačioje (2.1.1 pav. A ir B). [1]

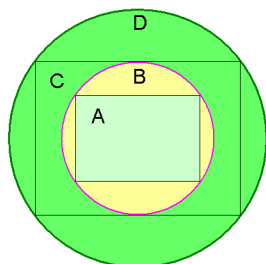


2.1.1 pav. Perspektyvos iškraipymai, jų korekcija

Iškraipymams panaikinti yra naudojami perspektyvos korekcijos objektyvai. Jie yra žinomi kaip PC objektyvai (angl. PC – perspective control lens), poslinkio objektyvai (angl. shift lens) arba pokrypio-poslinkio objektyvai (angl. tilt-shift lens). Objektyvų kilmė siejama su pirmosiomis vaizdo kameromis. Kameroje plokštuma ant kurios montuojama fotojuosta nuo lęšio buvo atskirta tampriomis dumplėmis, kurios leido perkelti lęšį nepriklausomai nuo juostos. Šis lankstumas fotografui leido koreguoti vertikalius iškraipymus [2], [3].

Objektyvai, reguliuojantys perspektyvą, turi du esminius skirtumus, kuriais skiriasi nuo normalių objektyvų. Pirmas – didesnis “aprėpiamo vaizdo dydis”. Visais objektyvais gaunamas apskritas aplinkos vaizdas ir vaizdo kokybė link apskrito lęšio krašto blogėja iki tam tikro lygio. Sritis, kur vaizdo kokybė gera, vadinama “gero ryškumo apskritimu”. Objektyvai yra taip

sukonstruoti, kad jų gero ryškumo apskritimas yra didesnis negu kadro formatas. Perspektyvą reguliuojantys objektyvai turi didesnę gero ryškumo apskritimą, 2.1.2 pav.



- A – Normalus 35mm kadras
- B – Normalaus 35mm lęšio projektavimo sritis
- C – Teoriškas poslinkio objektyvo lęšio kadro dydis
- D – Poslinkio objektyvo lęšio projektavimo sritis

2.1.2 pav. Lęšio aprėpiamo vaizdo zona

Antra objektyvo su perspektyvos korekcija ypatybė – gebėjimas perkelti objektyvą nuo jo montavimo ašies. Objektyvo judėjimas leidžia fotografui išsirinkti, kokia vaizdo dalis, sukurta C kadro rėme, bus užregistruota kadre A (kitai tariant A kadras gali būti perkeltas C kadro rėmuos).



a)

b)

2.1.3 pav. Perspektyvą reguliuojantis objektyvas, a) su paslinktu lęšiu, b) su pakreiptu lęšiu.

Nors perspektyvos korekcijos objektyvai taiso perspektyvą, bet vis dar iškraipo formą. Koreguojant vertikalias sueinančias (susiliejančias) linijas, viršutinės pastato dalys, lyginant su nepataisytu vaizdu, atrodo ištemptos. Vertikalių linijų susilieimo iškraipymas buvo pakeistas ištempimo iškraipymu. Ši iškraipymo forma daugeliu atveju yra priimtinesnė akiai negu vertikalių linijų suėjimas, ir tai dažnai mažiau pastebima, (2.1.1 pav. C). Kita objektyvo ypatybė ta, kad pakreipiant jį į viršų ar į apačią fotografas gali pakeisti kampą tarp optinės ašies ir plokštumos, kurioje projektuojamas vaizdas. Lęšio pakreipimas leidžia pakreipti židinio plokštumą taip, kad ji sutaptų su objekto plokštuma. Tai reiškia, kad fokusuojama ne į tam tikrą vaizdo tašką, bet į visą vaizdą, todėl visi į kadra patenkantys objektai išlieka ryškūs [4], [5].

2.2 Vaizdo atstatymas pagal automatiškai nustatytą posūkio kampą

Automatiškai vaizdo posūkio kampas nustatomas „radon“ transformacija. „Radon“ transformacija plačiai naudojama skaitmeniniuose vaizduose tiesių linijų aptikimui. Procesas

apskaičiuoja $f(x,y)$ vaizdo matricos pasisukimo kampą (θ nuo 0 iki 180°) ir projekciją. Galima paskaičiuoti projekcijas pagal bet kokį kampą θ . Paprastai vaizdo matricos $f(x,y)$ „radon“ transformacija yra lygiagretus y' ašiai linijos integralas nuo f .

$$R_\theta(x') = \int_{-\infty}^{\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (2.2.1)$$

kur θ - sukimosi kampas.

Sukimasi galima užrašyti matricos forma:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}. \quad (2.2.2)$$

Kad šį metodą būtų galima panaudoti posūkio kampui apskaičiuoti, reikia spalvotą tam tikru pasukimo kampu gautą vaizdą (paveikslėlį) paversti į nespalvotą (angl. greyscale) ir surasti vaizdo kraštus. Kraštų suradimas tai procesas, kuriuo metu vaizde nustatomi ir atpažįstami aštrūs netolydumai. Netolydumai yra staigūs vaizdo elemento (pikslio) intensyvumo pokyčiai, kurie vaizde nurodo objektų ribas. Klasikiniai krašto suradimo metodai siejami su vaizdo ir funkcijos (dvimačio filtro) sąsūka. Yra skiriami šeši kraštų suradimo metodai:

- Sobel metodas. Kraštai surandami išvestinės skaičiavimui naudojant Sobel aproksimaciją. Surandami kraštai taškuose, kuriuose vaizdo intensyvumo gradientas turi maksimumą.

- Prewitt metodas. Kraštai surandami išvestinės skaičiavimui naudojant Prewitt aproksimaciją. Surandami kraštai taškuose, kuriuose vaizdo intensyvumo gradientas turi maksimumą.

- Roberts metodas. Kraštai surandami išvestinės skaičiavimui naudojant Roberts aproksimaciją. Surandami kraštai taškuose, kuriuose vaizdo intensyvumo gradientas turi maksimumą.

- Laplasiano ir Gauso metodas. Atlikus vaizdo intensyvumo filtravimą Laplasiano Gauso filtru, kraštai surandami ieškant nulinių reikšmių susikirtimo taškų.

- Nulių susikirtimo metodas (angl. zero-cross). Atlikus vaizdo intensyvumo filtravimą pasirinktu filtru, kraštai surandami ieškant nulinių reikšmių susikirtimo taškų.

- Canny metodas. Kraštai surandami ieškant vaizdo intensyvumo vietinių gradiento maksimalių reikšmių. Gradientas skaičiuojamas pagal Gauso filtro išvestinę. Metodas stiprių ir silpnų kraštų aptikimui naudoja du slenkstinius lygius. Jeigu silpni kraštai yra prijungti prie stiprių

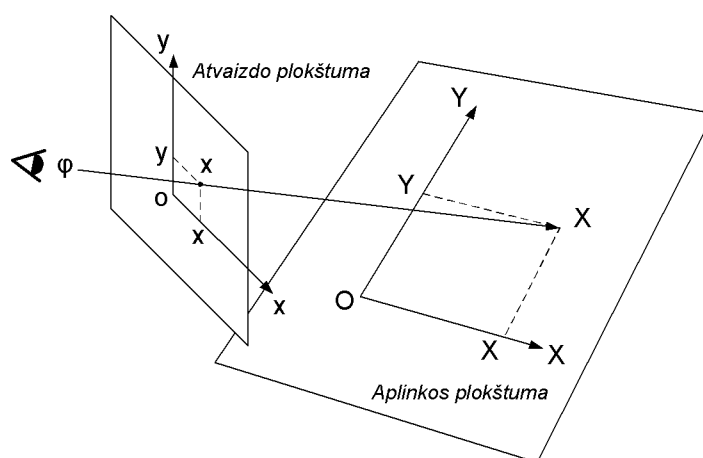
kraštų, tai jie įtraukiami į filtruotą vaizdą. Šis metodas mažiausiai jautrus triukšmams negu kiti metodai ir geriausiai aptinka tikrus silpnus kraštus. [6]

2.3. Perspektyvos iškraipymų atstatymas pagal objekto keturis kampus

Vienas iš pagrindinių metodų, kaip atstatyti perspektyvos iškraipymus, paremtas perspektyvos transformacijos skaičiavimu.

Vaizdo kamera gali būti prietaisu, kuris naudojamas tam, kad iš padarytų aplinkos nuotraukų būtų galima išmatuoti vidaus scenas, tokias kaip: sienos, grindys, baldai, architektūrinius matmenis, kur dydžiai, langų padėtys, durys ir taip toliau yra apibrėžti.

Prieš metodo apžvalgą, aptarsime naudojamą kameros modelį, 2.3.1 pav.



2.3.1 pav. Plokštuminis kameros modelis: aplinkos plokštumoje esantis taškas X yra atvaizduojamas kaip x taškas X , esantis aplinkos plokštumoje yra atvaizduojamas x . X - Y ir x - y yra Euklido koordinatės, atitinkamai naudojamos aplinkos ir atvaizdo plokštumose. φ – kameros centras.

Aukščiau pateiktoje iliustracijoje pavaizduotas vaizdo gavimo procesas. Taškai, esantys aplinkos plokštumoje, aprašomi didžiųjų raidžių vektoriais, X , o juos atitinkantys taškai atvaizdo plokštumoje, aprašomi mažųjų raidžių vektoriais, x . Taigi kameros modelis gali būti aprašytas sekančiai:

$$X = Hx \quad (2.3.1)$$

kur H yra 3×3 homogeninė matrica, ir “=” yra skalių lygybė (skalės yra lygios). Aplinkos ir jos atvaizdo taškai vaizduojami 3-jais homogeniniais vektoriais, tokiais kaip: $X = (X, Y, W)^T$ ir $x = (x, y, 1)^T$. Lygybei matricos skalė neturi jokios įtakos, tik aštuoni laisvės laipsniai, kurie atitinka matricos koeficientus, yra reikšmingi.

Kameros modelis yra pritaikytas visiškai apibrėžtai matricai. Matrica gali būti apskaičiuojama iš tarpusavyje padėti susijusių dviejų plokštumų ir kameros centro. Kitas

matricos apskaičiavimo būdas – pagal atitinkamai sutampančius aplinkos ir atvaizdo taškus. Būtent šis metodas ir bus toliau nagrinėjamas.

Panaudojant homografinę transformaciją, 2.3.1 lygtyje aprašytą kameros modelį, galima išreikšti taip:

$$\begin{pmatrix} XW \\ YW \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.3.2)$$

kur x, y yra aplinkos atvaizdo, padaryto vaizdo kamera, koordinatės, o XW, YW, W yra aplinkos koordinatės, kurias norime atvaizduoti nuotraukoje ir W yra išreiškiamas:

$$W = gx + hy + 1 \quad (2.3.3)$$

šių lygtį galime perrašyti kitaip, kad parodyti jos netiesinę formą. Tokiu atveju skaitiklis nurodys afininei (transformacija, susidedanti iš translacijos, skalės keitimo, sukimo) transformacijai reikalingus parametrus, o vardiklis – perspektyvos netiesiškumą:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} g & h & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}} \quad (2.3.4)$$

Tai ekvivalentiška labiau pažįstamai, ne vektorinei, perspektyvos transformacijos formai, kurios vadinamos keturių taškų lygtimis, ir yra lygios:

$$X = \frac{ax + by + c}{gx + hy + 1} \quad (2.3.5)$$

$$Y = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + 1} \quad (2.3.6)$$

Kiekvieną lygties subendravardiklinus (padauginus iš vardiklio), gautume:

$$X(gx + hy + 1) = ax + by + c \quad (2.3.7)$$

$$Y(gx + hy + 1) = dx + ey + f \quad (2.3.8)$$

Sudauginę iš neturinčius koeficientų X ir Y iškėlę į kairę, gausime:

$$X = ax + by + c - gXx - hXy \quad (2.3.9)$$

$$Y = dx + ey + f - gYx - hYy \quad (2.3.10)$$

Gautas išraiškas papildysime nuliais:

$$X = ax + by + c - 0d + 0e + 0f - Xxg - Xyh \quad (2.3.11)$$

$$Y = 0a + 0b + 0c + xd + ye + f - Yxg - Yyh \quad (2.3.12)$$

tuomet tai bus panašu į matricos ir vektoriaus sandaugą:

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_1x_1 & -X_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -Y_1x_1 & -Y_1y_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_2x_2 & -X_2y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -Y_2x_2 & -Y_2y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_nx_n & -X_ny_n \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -Y_nx_n & -Y_ny_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ \vdots \\ X_n \\ Y_n \end{pmatrix} \quad (2.3.13)$$

Šios lygčių sistemos sprendimui naudojama Matlab paketo vienetinės reikšmės skaidymo funkcija, kuri duoda homogeninės transformacijos matricos koeficientus. Kuomet turime koeficientus, naudojant dvitiesinę interpoliaciją, galime atlikti tiesinę transformaciją, po kurios gaunamas atvaizdas be perspektyvos iškraipymo. [7],[8], [9]

2.4. Išvados

Pokrypio-poslinkio objektyvais ištaisomi vaizdo iškraipymai, kurie gaunami fotografuojant objektus iš nuožulnios padėties. Su pakreiptais lęšiais, gaunamas puikus objektų ryškumas visoje plokštumoje, o su nepakreiptais - plokštumos, lygiagrečios fotojuostai ar vaizdo jutiklių matricai, centre. Lygiagrečios linijos, naudojant objektyvo lęšių paslinkimą ir išlaikant vaizdo kamerą lygiagrečią registruojamai temai, išlieka lygiagrečios. Lygiagrečios linijos pajuda, kai vaizdo kamera pakreipiama į viršų norint užregistruoti pastato viršūnę, arba žemyn, kad pamatyti pagrindą. Jeigu yra perkeliamas objektyvo lęšis, nejudinant vaizdo kameros, linijos nejudą. Lygiagrečių vertikalinių linijų susiliejęs iškraipymus galima atstatyti naudojant vaizdų koregavimo programas, kaip "Photoshop", bet tuomet dalį vaizdo prarasime. Vaizdo kameroje tokie iškraipymai yra pakeičiami ištempimo iškraipymais, kurie mažiau pastebimi.

Homogeninė transformacija ypatinga tuo, kad tiesias linijas, esančias vienoje plokštumoje, atvaizduoja tiesiomis linijomis kitoje plokštumoje. Taikant kitas transformacijas, atsiranda iškraipymai, kai vienos erdvės tiesios linijos kitoje erdvėje atvaizduojamos tam tikromis kreivėmis.

3. GEOMETRINĖS TRANSFORMACIJOS IR PAVEIKSLŲ REGISTRAVIMAS

Tam, kad atstatyti iškraipytą paveikslą, naudojamos geometrinės transformacijos. Geometrinės transformacijos modifikuoja ryšį tarp paveikslo pikselių¹. Jos dažnai vadinamos rubber-sheet transformacijomis, nes yra matomos kai paveikslas atspausdintas ant popieriaus arba gumos - nutįsta.

Dažnai geometrinės transformacijos naudojamos atliekant vaizdų registravimą. Vaizdų registravimas tai procesas, kuriuo metu pertvarkomi du to paties objekto (dekoracijos) vaizdai taip, kad būtų galima atlikti vizualinį arba kiekybinį palyginimą. [10]

3.1. Geometrinės erdvinės transformacijos

Tarkim vaizdas f , aprašytas (w,z) koordinačių sistemoje, paveikus geometriniais iškraipymams, gaunamas vaizdas g , aprašytas (x,y) koordinačių sistemoje. Koordinačių transformacija galima išreikšti taip:

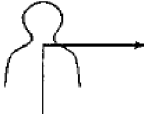
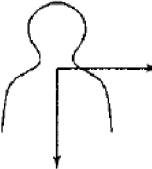
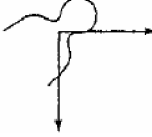
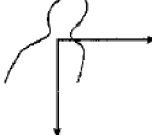
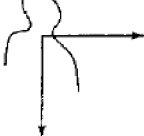

$$(x, y) = T\{(w, z)\} \quad (3.1.1)$$

Viena iš dauguma bendrai naudojamų erdviųjų transformacijų formų yra panašumų transformacijos (angl. affine transform) (Wolberg [1990]). Panašumų transformacijos, sudarytos iš tiesinių transformacijų, sekančių iš translacių, gali būti aprašomos matricos forma:

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w & z & 1 \end{bmatrix} T = \begin{bmatrix} w & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1.2)$$

Ši transformacija gali: keisti mastelį (skalę), pasukti, perkelti arba ištempti taškų grupę, priklausomai nuo T matricos pasirinktų elementų verčių. 3.1 lentelėje parodyta kaip reikia pasirinkti elementų vertes, kad įgyvendinti skirtingas transformacijas. Pirminei transformacijai atlikti naudojama $T\{(w, z)\}$, o atstatymui – atvirkštinė transformacija $T^{-1}\{(w, z)\}$. [10]

¹ Mažiausias taškinis grafikos elementas, galintis turėti individualią spalvą. Atmintyje vienam pikseliui skiriamas vienas arba daugiau bitų. Kuo daugiau bitų, tuo didesnis spalvų skaičius arba pilkumo tonų skaičius.

| Geometrinių transformacijų tipai | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipas | T matrica | Koordinačių lygtys | Schema |
| Identiškas vaizdas | $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $\begin{aligned} x &= w \\ y &= z \end{aligned}$ |  |
| Skalės keitimas | $\begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $\begin{aligned} x &= s_x w \\ y &= s_y z \end{aligned}$ |  |
| Pasukimas | $\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $\begin{aligned} x &= w \cos \theta - z \sin \theta \\ y &= w \sin \theta + z \cos \theta \end{aligned}$ |  |
| Ištempimas (horizontalia kryptimi) | $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \alpha & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $\begin{aligned} x &= w + \alpha z \\ y &= z \end{aligned}$ |  |
| Ištempimas (vertikalia kryptimi) | $\begin{bmatrix} 1 & \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $\begin{aligned} x &= w \\ y &= \beta w + z \end{aligned}$ |  |
| Perkėlimas | $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \delta_x & \delta_y & 1 \end{bmatrix}$ | $\begin{aligned} x &= w + \delta_x \\ y &= z + \delta_y \end{aligned}$ |  |

3.2. Geometrinės operacijos ir jų taikymas vaizdams

Geometrinės operacijos pakeičia vaizdo erdvinius matmenis. Iš tiesinių transformacijų dažniausiai naudojamos trys svarbiausios geometrinės operacijos. Tiesinės transformacijos yra geometrinės operacijos kurios išlaiko tiesiškumo ir perspektyvos santykį. Tai reiškia, kad taškai kurie buvo tiesiniai prieš operaciją, išliks tiesiški ir po operacijos ir linijos segmento vidurio taškai prieš operaciją bus transformuoti į linijos segmento vidurio taškus po operacijos. Tos trys operacijos yra: transliacija, skalės keitimas ir sukimas, 3.2.1 paveikslas.



3.2.1 pav. Trys pagrindinės geometrinės transformacijos

Transliacija, tai geometrinė transformacija, kurios metu vaizdo elementai, iš savo pradinės (x_1, y_1) padėties yra perkeltami į naują (x_2, y_2) padėtį. Į kurią vaizdo vietą perkelti vaizdo elementus, nurodo vartotojas (β_x, β_y) . Transliacija naudojama vaizdų vizualizacijai pagerinti, be to atlieka preprocesoriaus vaidmenį, kur reikalinga dviejų ar daugiau vaizdų registracija.

Transliacija paaiškinamas transliacijos operatoriumi atliekant formos transformavimą:

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 + \beta_x \\ y_2 &= y_1 + \beta_y \end{aligned} \quad (3.2.1)$$

Kadangi pradinio vaizdo matmenys yra apibrėžti, tai ir naujo vaizdo matmenys bus baigtinių dydžių diskretinės erdvės. Jeigu naujos (x_2, y_2) koordinatės išeina iš už vaizdo ribų, tai transliacijos operatorius jas ignoruoja, nors, kai kuriais atvejais, operatorius gali apjungti aukštesnįjį koordinatinių tašką su žemesniu juo tam, kad vaizdą perkelti iš už nugaros į priekį. Atliekant vaizdo perkėlimą į kitą vietą, likę tušti pikselių ruožai yra užpildomi juoda spalva.

Sukimas, tai geometrinė transformacija, kurios metu vaizdo elementai iš savo pradinės (x_1, y_1) padėties yra pasukami, vartotojo nurodytu θ kampų, apie koordinatinių centrą O į naują (x_2, y_2) padėtį. Jeigu naujos (x_2, y_2) koordinatės išeina iš už vaizdo ribų, jos yra ignoruojamos. Sukimas dažniausiai naudojamas, kad pagerinti regiamąjį vaizdo (paveikslo) išvaizdą, be to sukimas naudojamas kaip preprocesorius srityse, kur taikomi tiesiniai operatoriai.

Sukimas paaiškinamas sukimo operatoriumi atliekant formos transformavimą:

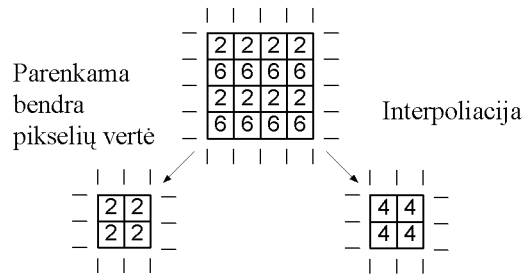
$$\begin{aligned} x_2 &= \cos(\theta) \cdot (x_1 - x_0) - \sin(\theta) \cdot (y_1 - y_0) + x_0 \\ y_2 &= \sin(\theta) \cdot (x_1 - x_0) + \cos(\theta) \cdot (y_1 - y_0) + y_0 \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

kur (x_0, y_0) –centrinio taško, apie kurį atliekamas sukimas, koordinatės ir θ – sukimosi kampas. Atlikus sukimą, gautas vaizdas yra didesnis už pradinį. Pikselių vietos, iš kurių vaizdas buvo suktas, paprastai užpildomos juodais pikseliais.

Skalės keitimas, tai geometrinė transformacija, kuri naudojama sumažinti arba padidinti vaizdo dydį (arba to vaizdo dalį). Vaizdo sumažinimas atliekamas pakeičiant grupės pikselių vertes pasirinkta iš tos grupės pikselio verte. Arba interpoliuoti tarp kaimyninių pikselių verčių. Vaizdo didinimas įgyvendinamas kopijuojant pikselius arba atliekant interpoliaciją. Skalės keitimas naudojamas pakeisti vaizdo (paveikslo) regiamąjį išvaizdą, pakeisti vaizde informacijos kiekį, arba kaip pirminis preprocesorius daugiapakopėje vaizdo apdorojimo grandinėje, kuris dirba su tam tikro dydžio vaizdo elementais. Skalės keitimas yra ypatingas affine transformacijos atvejis.

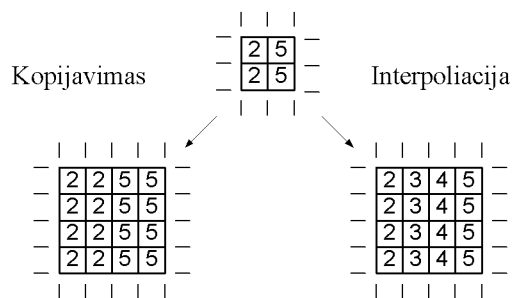
Vaizdą išplėsti (padidinti) arba suspausti (sumažinti) galima palei koordinatinių kryptį, keičiant skalės dydį.

Vaizdo suspaudimas, kaip buvo minėta, gali būti atliekamas dviem metodais, parodyta 3.2.2 paveiksle. Atliekant pirmuoju metodu, atsitiktinai iš kaimyninių pikselių verčių pasirenkama viena vertė. Ta vertė turi atitikti aplinkines vertes. (Skaičiavimo atžvilgiu, šis metodas yra paprastesnis, bet dėl vertės, per didelės, paieškos zonos, galima gauti blogus rezultatus). Antrasis metodas atlieka interpoliaciją tarp kaimyninių pikselių verčių, imant vietinių intensyvumo verčių statistinį vidurkį.



3.2.2 pav. Vaizdo mažinimo metodai. a) Atliekamas verčių pakeitimas su viršutiniu kairiuoju pikseliu. b) naudojant vidurkio reikšmes atliekama interpoliacija

Vaizdo (arba vaizdo dalies) padidinimas gali būti atliekamas kopijuojant pikselius arba atliekant interpoliaciją dviem metodais. 3.2.3 paveiksle padodyta, kaip kopijuojant pikselius yra sukeičiamas originalaus vaizdo kiekvienas pikselis su tos pačios vertės pikselių grupe (pikselių grupės dydis apribotas skalės koeficientu). Kaimyninių pikselių verčių interpoliaciją originaliaame vaizde, galima atlikti sukeičiant kiekvieną pikselį su išplėsta pikselių grupe. Dauguma vartotojų rekomenduoja didinti originalaus vaizdo dydį arba tą dydį išlaikyti pastovų ir jo ribose didinti tam tikrą vaizdo dalį.[11]



3.2.3 pav. Vaizdo didinimo metodai. a) Pikselio vertės kopijavimas. b) Interpoliacija.

4. PAVEIKSLŲ IŠKRAIPYMŲ IR INVERSIJOS KOREKCIJA NUSTATANT KAMEROS POSVYRĮ

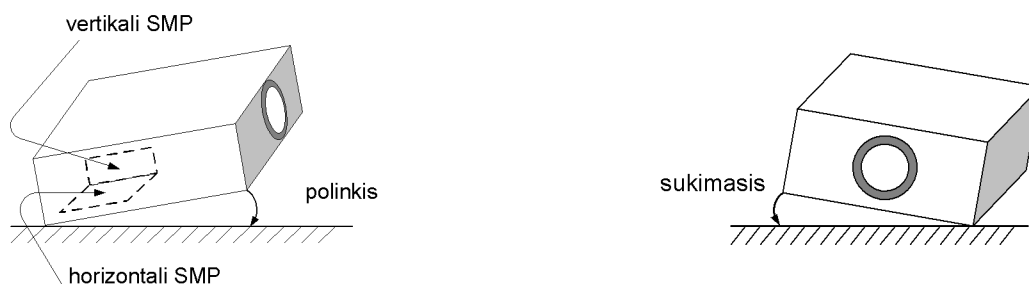
4.1. Akcelerometro panaudojimas posvyrio matavimui

Skaitmeninės kameros posvyrio matavimus gali naudoti vaizdų procesoriai, kad automatiškai galėtų koreguoti vaizdų iškreipimus, kuriuos sąlygoja projektoriaus pasvirimas (nuspaudžiant mygtuką).

Posvyrio matavimai gali būti panaudoti ir kitu tikslu, nustatyti ar projektorius padėtį, jei jis apverstas aukštin kojom, reikės apversti registruojamą vaizdą. Be to, 360° posvyrio matavimas 2-juose ašyse, leidžia naudotis bet kuria projektoriaus puse ir ant bet kurio paviršiaus, kol išlaikomas neiškraipytas vertikalus vaizdas.

Akcelerometras arba pagreičio matuoklis gali būti naudojamas matuoti statinį ir dinaminį pagreitį. Posvyris yra statinis matas (matmuo), pagreitis matuojamas svorio centre. Tam, kad pasiekti didesnę posvyrio kampo tikslumą, reikalingas mažo-g (kur g - laisvojo kūnų kritimo pagreitis $g = 9.8\text{m/s}^2$), didelio jautrumo akcelerometras. [12]

Akcelerometras gali matuoti vienos arba dviejų ašių posvyrį. Posvyrio kampo riba išmatuojama priklausomai nuo akcelerometro montavimo vietos. Jei SMP (spausdinto montažo plokštė) ant kurios įmontuotas akcelerometras yra horizontali, tuomet posvyrio kampas dviem ašims gali būti išmatuotas iki $\pm 45^\circ$. Jeigu akcelerometras yra ant SMP, kuri įmontuota vertikaloje pozicijoje, tuomet posvyrio kampas ar sukimas galima matuoti ribose nuo 0° iki 360° . Šiuo atveju sukimasis arba pasvirimas vyksta apie ašį, kuri yra statmena plokštei. Projektoriaus posvyrio kampas, atitinkantis projektoriaus priekinės ar užpakalinės dalies kilnojimąsi, vadinamas nuolydžio kampu (angl. pitch angle). Posvyrio kampas, atitinkantis bet kurio projektoriaus šono kilnojimąsi, vadinamas sukimosi/krypavimo kampu (angl. roll angle). 4.1 paveiksle pavaizduoti projektoriaus pakrypimo kampai ir vidinės SMP orientacija.



4.1 pav. Projektoriaus (arba vaizdo kameros) posvyriai

Vaizdų iškreipimams koreguoti, nuolydžio kampas yra būtinas, o sukimosi – nebūtinus. Nuolydžio ir sukimosi kampai gali savo dydžiu sutapti $\pm 30^\circ$ ribose. Jeigu iškreipimų korekcija

priklauso nuo nuolydžio, tuomet akcelerometrą reikia montuoti ant vertikalios arba horizontalios SMP. Arba akcelerometro jautrumo ašis turi būti lygiagreti projekcijos linijai.

Tam, kad būtų galima matuoti posvyrio kampą plačiose ribose, kuomet projektorius yra apverstas aukštyn kojom, akcelerometras turi būti montuojamas vertikalioje SMP. Jeigu projektoriaus procesoriaus pagrindinė plokštė normaliai yra horizontalioje padėtyje ir projektorius naudojamas apverstas dugnu į viršų, galima panaudoti SMP su vertikaliai sumontuotu akcelerometru. [13]

4.2. Pagreičio perskaičiavimas į pasvirimą

Nepriklausomai nuo akcelerometro montavimo padėties (horizontaliai, vertikaliai), matuojamo akcelerometro signalo reikšmė nėra proporcingai tiesinė posvyrio kampui. Abiem atvejais trigonometrinės funkcijos apibrėžia santykį tarp posvyrio kampo ir pagreičio. Jeigu akcelerometras sumontuotas horizontaliai, tuomet santykis tarp pagreičio ir posvyrio kampo yra:

$$\begin{aligned} Ax &= g \cdot \sin(\alpha) \\ Ay &= g \cdot \sin(\beta) \end{aligned} \quad (4.2.1)$$

kur Ax ir Ay akcelerometro išėjimai, g – laisvo kritimo pagreitis, α ir β yra nuolydžio ir sukimosi posvyrio kampai.

Posvyrio kampams skaičiuoti naudojama atvirkštinė sinuso funkcija:

$$\begin{aligned} \alpha &= \sin^{-1}(Ax/g) \\ \beta &= \sin^{-1}(Ay/g) \end{aligned} \quad \text{arba} \quad \begin{aligned} \alpha &= \arcsin(Ax/g) \\ \beta &= \arcsin(Ay/g) \end{aligned} \quad (4.2.2)$$

Tiesinės funkcijos aproksimaciją galima panaudoti su tam tikru tikslumo praradimu. Tuomet tiesinis ryšys bus:

$$\begin{aligned} \alpha &= k \cdot Ax \\ \beta &= k \cdot Ay \end{aligned} \quad (4.2.3)$$

kur k – išskaičiavimo faktorius, kuris $\pm 30^\circ$ diapazonui buvo skaičiuotas pagal tiesinę regresiją ir lygus $59.04^\circ/g$. Maksimali aproksimacijos paklaida $\pm 0.54^\circ$.

Jeigu akcelerometras sumontuotas vertikaliai ir abi jautrumo ašys guli ant plokštumos, tuomet tos plokštumos posvyrio kampas randamas iš atvirkštinės tangento funkcijos:

$$\gamma = \tan^{-1}[Ay/Ax]. \quad (4.2.4)$$

Tokiu atveju gaunamas tikslesnis posvyrio kampas 360° posvyrio ribose. Kitas vertikalaus montavimo pranašumas prieš horizontalaus, tai kad signalų procese bendros abiejų akcelerometro išėjimų paklaidos panaikinamos dalinant Ay iš Ax .

Naudojant atvirkštinę tangento funkciją, reikalinga kvadrantų korekcija. Skaičiuojant atvirkštinę tangentą \tan^{-1} , akcelerometro A_x ir A_y išėjimų poliarumas nulemia posvyrio kampo kvadrantą. [13]

4.3. Tiesinių akcelerometrų naudojimas posvyrio kampui nustatyti

Aptarsime kaip surasti patikimas ir tikslias posvyrio reikšmes naudojant akcelerometrą, lyginant įvairių pakrypimo matavimų technikų pranašumus ir trūkumus.

Posvyrio kampas yra statinis matas. Sunkio jėga naudojama tam, kad nulemtų objekto orientaciją, skaičiuojant pakrypimo kampą. Akcelerometro pagreitis prie 180° kinta ribose nuo $-1g$ iki $+1g$, kur g – laisvo kritimo pagreitis $9.8m/s^2$.

Akcelerometrų taikymo srityse svarbiausios jų savybės: tikslumas ir pastovumo išlaikymas. Pakrypimo matavimo tikslumą galima pagerinti naudojant 0-g atskaitos kalibravimo metodą, kad kompensuoti nulio nustatymo paklaidas.

Automatinis nulio kompensavimo metodas pagrįstas atrenkant akcelerometro išėjimo įtampų vertes prie $0g$, kurios laikomos nulio atskaitomis. [14]

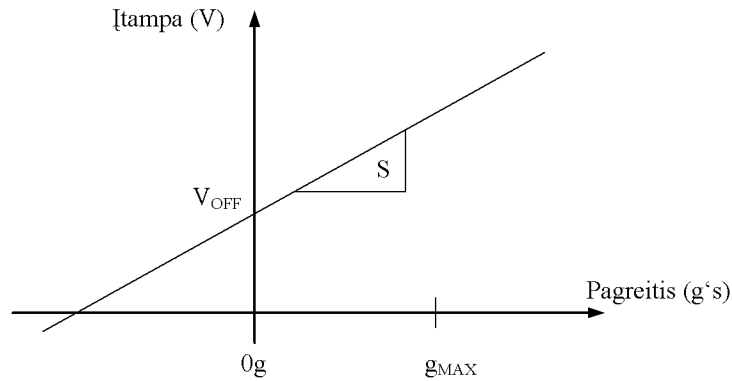
4.4. Nulio nustatymas, paklaidų atsiradimas

Nulio nustatymo paklaidos gali atsirasti dėl įvairių išorinių veiksnių, tokių kaip pakuotės ar montavimo mechaninių įtempimų, poslinkiai dėl temperatūros ar senėjimo. Šie visi veiksniai gali pakeisti nulio nustatymą, kas gali turėti didelės įtakos taikymo srityse. Nulio nustatymo paklaida gali paveikti pakrypimo kampą ant lygaus paviršiaus apie 12° . Taikymo srityse tokia paklaida nepriimtina.

Automatiniam nulio nustatymui galima naudoti mikrovaldiklį su ASK, kuris sumažins paklaidas, paklaidų korekcija bus apribota ASK skyra. 4.4.1 pav. pateikta akcelerometro perdavimo funkcija. Išėjimas yra įtampa, o įėjimas – pagreitis, matuojamas g 's. Tiesės lygtis išreiškiama taip:

$$V_{OUT} = [(V_2 - V_1)/(g_2 - g_1)] \cdot g + V_{OFF} = S \cdot g + V_{OFF}, \quad (4.4.1)$$

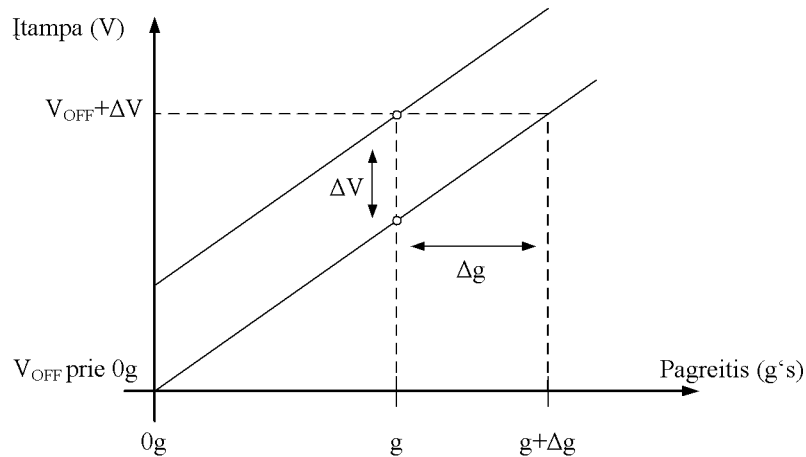
kur V_2 ir V_1 – dvi įtampos, g_2 ir g_1 įėjimo pagreičio reikšmės, atitinkančios tas įtampos. Linijos nuolydis $S = (V_2 - V_1)/(g_2 - g_1)$ yra akcelerometro jautrumas. Koordinačių ašyje ant y ašies atidedama įtampa prie $0g$, V_{OFF} .



4.4.1 pav. Akcelerometro perdavimo funkcija

Pagreitis nustatomas pagal tiesinę funkciją:

$$\text{Pagreitis (g)} = (V_{\text{OUT}} - V_{\text{OFF}}) / S \quad (4.4.2)$$



4.4.2 pav. Paklaidų atsiradimas nustatant nulį

Jeigu įvedama ΔV_{OFF} paklaida, tuomet jai atsiranda atitinkama pagreičio paklaida Δg . [14]

$$g + \Delta g = [V_{\text{OUT}} - (V_{\text{OFF}} + \Delta V_{\text{OFF}})] / S \quad (4.4.3)$$

4.5. Metodai kaip nustatyti atsvaros įtampą (įtampą prie 0g)

a) rankinis pilno diapazono 0g kalibravimo metodas X, Y, Z ašims. Tam, kad rasti akcelerometro išėjimo įtampos vertę prie 0g, kuomet įtaisas padėtas lygioje vietoje. Prietaisą reikia sukti aplink vieną ašį ribose nuo +1g iki -1g. Maksimali vertė bus +1g, o minimali bus -1g. Tarkim, kad jautrumas yra simetrinis nuo nulinio iki teigiamo ir nuo nulinio iki neigiamo, tuomet įtaiso jautrumą apskaičiuosime padalindami iš dviejų. Žinant jautrumą, įtampą prie 0g galima apskaičiuoti pridėdant jautrumą prie minimalios reikšmės arba atimant iš maksimalios reikšmės. Šį metodą reikia taikyti visoms ašims.

b) paprastas 0g kalibravimo metodas X, Y, Z ašims. Įtaisas padėtas ant lygaus paviršiaus. Jį reikia pasukti vieną kartą 90° nuo 0g XY ašimis iki 0g Z ašimi. Šis metodas neteikia tokio didelio tikslumo kaip ankstesnis.

c) laisvo kritimo kalibravimas. Tam, kad sukalibruoti įtaisą prie 0g atsvaros, reikia įrašyti X, Y, Z ašių atsvaros įtampas, kai įtaisas yra laisvo kritimo būsenoje. Atliekant kalibravimą tokiu metodu, laisvo kritimo metu įtaisas gali apsisukti ir jėga veiks į prietaisą. Be to toks metodas nepatogus pakartotiniams kalibravimams. Metodas geras tuo, kad visos trys ašys vienu metu gali būti 0g.

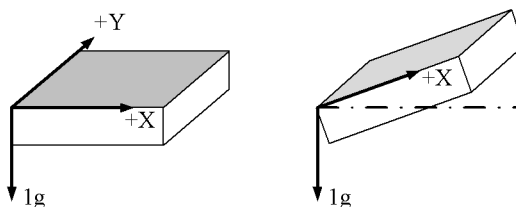
d) paprastas 0g X, 0gY ir + Z kalibravimas. Šis metodas gan patogus, reikia įtaisą padėti ant lygaus paviršiaus taip, kad X ir Y būtų 0g, o Z būtų +1g. X ir Y atsvaros reikšmės bus pakankamai tikslios, bet prie +1g turės paklaidą. 0g atsvaros reikšmė Z ašiai suskaičiuojama atimant žinomą jautrumą iš +1g vertės.[15]

4.6. Posvyrio matavimo metodai

Šiame poskyryje aptarsime kokio tipo akcelerometrai yra geresni, ir kaip naudojant skirtingų struktūrų akcelerometrus, galima išmatuoti posvyrio kampą.

4.6.1. Posvyrio matavimas naudojant vienos ašies akcelerometrą

Naudojant dviejų ašių (XY) akcelerometrus, sumontuotus statmenai sunkio jėgai, tuomet posvyrio matavimo algoritmas yra supaprastinamas iki vienos jautrumo ašies. Kaip parodyta 3.6.1.1 pav., akcelerometras yra padėtas išilgai X ašiai. Keliant (pakreipiant) X ašį, t.y. sukantis apie Y ašį, Y ašies išėjimas visą laiką išlieka 0g.



4.6.1.1 pav. Dviejų ašių akcelerometras su viena posvyrio ašimi

Jeigu akcelerometro posvyrio kampui matuoti naudojama viena ašis (X ašis), tuomet galios sekanti išraiška:

$$V_{\text{OUTX}} = V_{\text{OFF}} + S + \sin\theta, \quad (4.6.1.1)$$

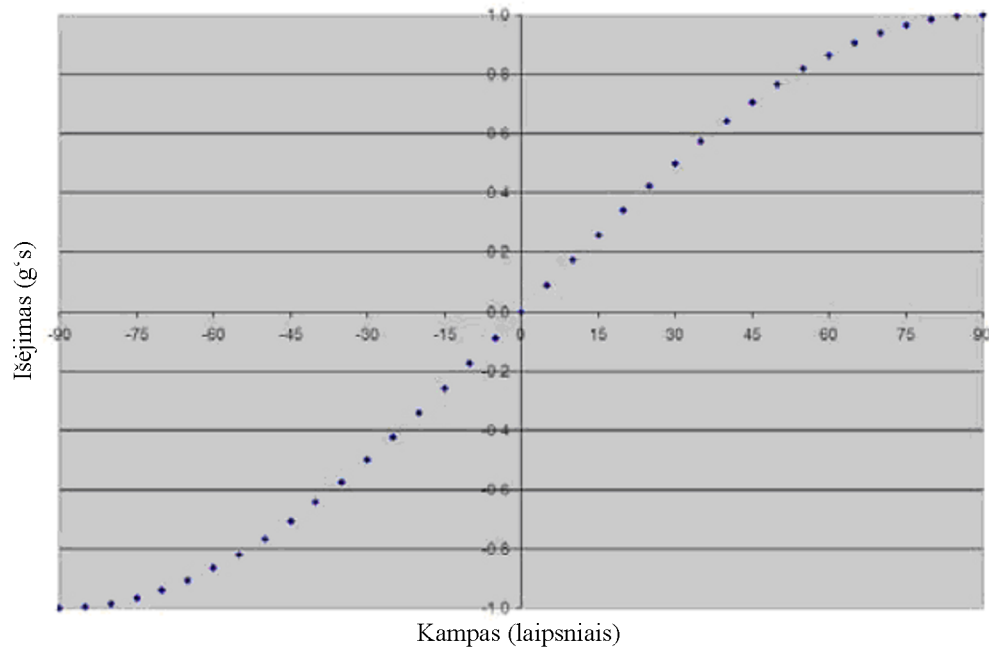
kur $V_{OUT X}$ – išėjimo įtampa iš akcelerometro X ašies išvado, V_{OFF} – atsvaros įtampa, S – akcelerometro jautrumas.

X ašies pagreitis priklausomai nuo sunkio jėgos lygus:

$$A_X = \frac{V_{OUT X} - V_{OFF}}{S} \quad (4.6.1.2)$$

Tam, kad surasti pakrypimo kampą, naudojama sekanti išraiška:

$$\theta = \sin^{-1}(A_X) \text{ arba } \theta = \arcsin(A_X) \quad (4.6.1.3)$$



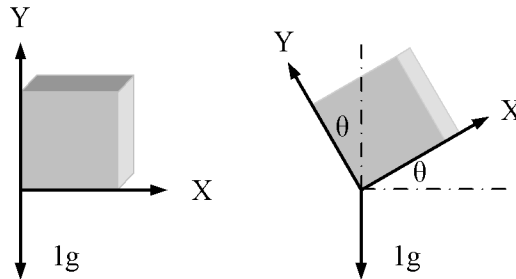
4.6.1.2 pav. Akcelerometro išėjimai (g's) matuojant vienos ašies pokrypį nuo -90° iki $+90^\circ$

Šis grafikas rodo akcelerometro išėjimo (g's) priklausomybę nuo posvyrio kampo, kurio kitimo ribos yra nuo -90° iki $+90^\circ$. Posvyrio jautrumas mažėja ribose tarp -90° ir -45° ir tarp $+45^\circ$ ir $+90^\circ$. Toks jautrumo sumažėjimas kuomet akcelerometro išėjimas artimas $+1g$ arba $-1g$, šį posvyrio matavimo metodą daro netiksliu. Toks matavimo metodas apriboja horizontaliai sumontuoto dviejų ašių akcelerometro posvyrio kampo matavimo tikslumą 360° ribose. Jis naudingas matuojant posvyrio kampą nuo -45° iki $+45^\circ$ ribose.

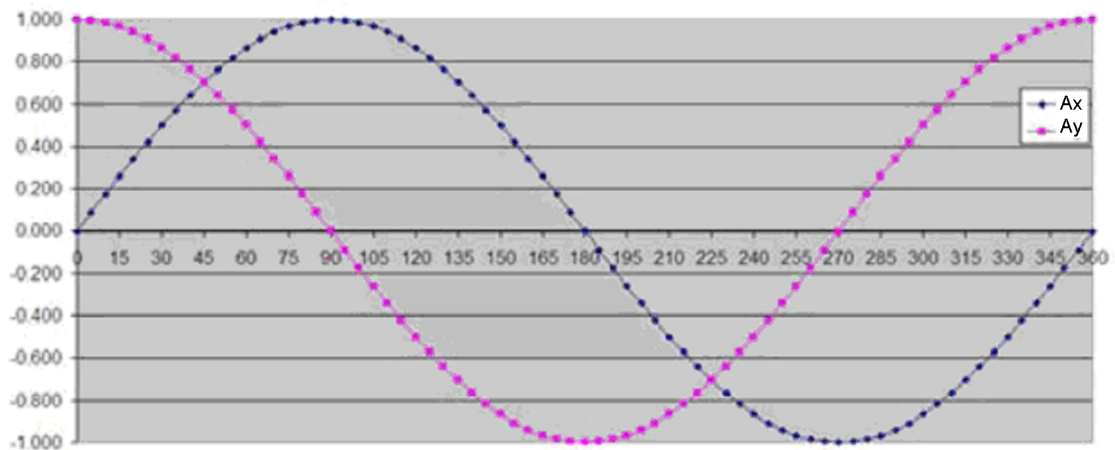
Šis metodas taip pat nepatogus tuo, kad neįmanoma sužinoti skirtumo tarp dviejų posvyrio kampų, kurių rezultatas - tas pats sensoriaus išėjimas. Išėjimas yra sinuso funkcija, todėl bus neįmanoma iš $0.5g$ nuskaityto akcelerometro išėjimo sužinoti ar jis yra pakrypęs 30° ar 150° . Tam, kad tiksliai nustatyti posvyrio kampą, reikia žinoti ir posvyrio kvadrantą. Tokia problema atsiranda posvyrio kampo matavimui naudojant dviejų ašių akcelerometrą.[16]

4.6.2. Posvyrio matavimas naudojant dviejų ašių akcelerometrą

Tikslumo ir posvyrio orientacijos problemų sprendimą galima susieti su akcelerometro vertikaliu montavimu taip, kad Y ašis būtų lygiagreti sunkio jėgos vektoriui (gravitacijai), arba naudojant trijų ašių akcelerometrą. Iš trijų ašių būtų naudojamos tik dvi. Naudojant daugiau nei vieną ašį, gaunamas didesnis tikslumas.

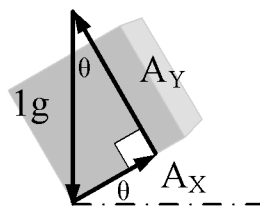


4.6.2.1 pav. Posvyrio matavimui naudojamos dvi (dviejų arba trijų ašių) akcelerometro ašys



4.6.2.2 pav. Sinuso funkcija X išėjimo ir kosinuso funkcija Y išėjimo

Viršuje pateiktame paveiksle parodyta, kad naudojant dvi akcelerometro ašis, priklausomai nuo sunkio jėgos (gravitacijos) X ašies išėjimo reikšmės kinta pagal sinuso funkciją, kai tuo metu Y ašies išėjimo reikšmės kinta pagal kosinuso funkciją. Posvyrio jautrumas (linijos šlaitas) X kryptimi yra maksimumas kai tuo tarpu Y kryptimi jautrumas yra minimumas ir atvirkščiai. Maksimalus posvyrio jautrumas gali būti išlaikomas pastovus kombinuojant X ir Y išėjimus. Elementari trigonometrija pavaizduota 4.6.2.3 pav.



4.6.2.3 pav. Elementari trigonometrija

Pagreitis X ašies kryptimi skaičiuojamas pagal sekantį išraišką:

$$A_X = \sin\theta \quad (4.6.2.1)$$

Pagreitis Y ašies kryptimi skaičiuojamas pagal sekantį išraišką:

$$A_Y = \cos\theta \quad (4.6.2.2)$$

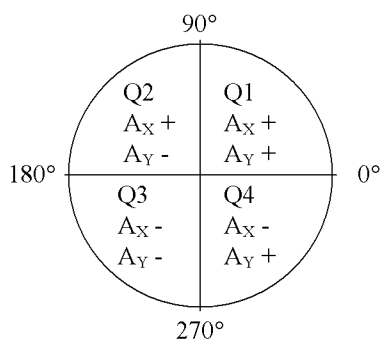
Jeigu yra naudojama abiejų ašių pagreičių kombinacija, tuomet galioja sekanti išraiška:

$$\frac{A_X}{A_Y} = \tan\theta \quad (4.6.2.3)$$

Y ašis yra pasvirusi nuo X ašies 90° kampu ir Y ašis patiria jautrumą prie $1g$ pagreičio, kai tuo tarpu X ašis patiria prie $0g$ pagreičio. Kombinuotas pagreitis visuomet lygus $1g$.

$$A = \sqrt{A_X^2 + A_Y^2} = 1g \quad (4.6.2.4)$$

Svarbu žinoti X ir Y pagreičių ženklus, kad nustatyti posvyrio kvadrantus, nes pagreičių reikšmės pirmame - trečiame ir antrame – ketvirtame ketvirčiuose bus vienodos. Kaip pavyzdys $\tan(45^\circ) = 1$ ir $\tan(225^\circ) = 1$. Kuomet paimeime arctan teigiamą vertę, posvyrio kampas yra pirmame arba trečiame ketvirtyje. Kuomet paimeime arctan su neigiama reikšme, posvyrio kampas bus pirmame arba ketvirtame kvadrante. Žinant pagreičio X kryptimi (A_X) ir Y kryptimi (A_Y) ženklą, galima nustatyti ties kuriuo kvadrantu pasviro akcelerometras. Orientavimasis kvadrantuose pavaizduotas 4.6.2.4 pav.[16]



Jeigu pirmame kvadrante, tai $Q1 = \arctan(A_X/A_Y)$

Jeigu antrame kvadrante, tai $Q2 = \arctan(A_X/A_Y) + 180$

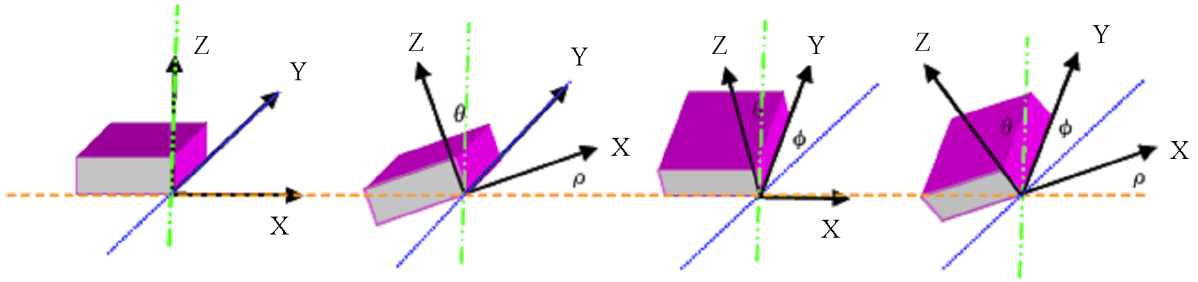
Jeigu trečiame kvadrante, tai $Q3 = \arctan(A_X/A_Y) + 270$

Jeigu ketvirtame kvadrante, tai $Q4 = \arctan(A_X/A_Y) + 360$

4.6.2.4 pav. Kvadrantai (ketvirčiai)

4.6.3. Posvyrio matavimas naudojant trijų ašių akcelerometrą

Tam, kad akcelerometru nustatyti trimis kryptimis kampą yra naudojami visi trys akcelerometro išėjimo parametrai tokie kaip: nuolydis (angl. pitch), krypimas (angl. roll) ir posvyris/teta. Nuolydis (ρ), tai kampas tarp X ašies ir žemės. Krypimas (φ), tai kampas tarp Y ašies ir žemės. Teta (θ), tai kampas tarp Z ašies ir sunkio jėgos (angl. gravity) (kitaip: Žemės paviršiaus).



4.6.3.1 pav. Posvyrio matavimas naudojant tris ašis

$$\rho = \arctan\left(\frac{A_X}{\sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}}\right) \quad (4.6.3.1)$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{A_Y}{\sqrt{A_X^2 + A_Z^2}}\right) \quad (4.6.3.2)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{\sqrt{A_X^2 + A_Y^2}}{A_Z}\right) \quad (4.6.3.3)$$

X, Y, Z ašių pagreičiai dėl traukos jėgos, susideda. Kai akcelerometras yra statinėje būsenoje, trijų ašių pagreičių suma lygi 1g. [16]

$$\sqrt{A_X^2 + A_Y^2 + A_Z^2} = 1g \quad (4.6.3.4)$$

4.7. Išvados

Jeigu yra reikalingi trijų ašių posvyrio kampai, tai geriau naudoti trijų ašių akcelerometrą. Visų pirma dėl jutiklio mažos kainos. Antra – dėl mažo dydžio. Trijų ašių akcelerometras yra tokio pat dydžio kaip ir vienos ar dviejų ašių. Todėl projektuojant spausdinto montažo plokštę, galima sutaupyti vietos, ko neišeitų padaryti naudojant kitų dviejų akcelerometrų kombinacijas. Trečia – lengvai išsprendžiama problema, aprašyta 3.6.2. skyriuje, dėl orientavimosi kvadrantuose. Jeigu akcelerometro išėjime pagreitis lygus 0.7g, kas atitinka 45° arba 135° posvyrio kampą, tai pagal Z ašies pagreičio ženklą galima nustatyti ties kuriuo kvadrantu pasviręs akcelerometras.

5. ERDVINĖS KOORDINATĖS

Norint išsamiai aprašyti pasukamo kūno orientaciją, reikia atsižvelgti į visus devynis posūkio matricos elementus. Tiesiogiai šie elementai nėra kūno apibendrintosios koordinatės, kurios aprašo pasukamo kūno orientaciją absoliučiosios koordinatės sistemos atžvilgiu.

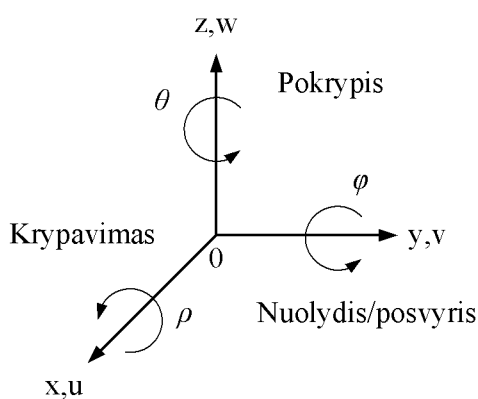
Dažnai kaip apibendrintosios besisukančio kūno koordinatės naudojami Eulerio kampai θ , φ , ρ . Yra daug Eulerio kampų sistemų, kurios aprašo kietojo kūno orientaciją bazinės koordinatės sistemos atžvilgiu. [17]

Sistemą sudaro posvyrio, posvyrio ir krypavimo kampai 5.1 pav. Šie kampai naudojami aparatų judesiams aprašyti.

Šiai sistemai būdingas toks posūkių nuoseklumas:

1. Posūkis kampu ρ apie ašį $0x$ ($R_{x,\rho}$) (krypavimas);
2. Posūkis kampu φ apie ašį $0y$ ($R_{y,\varphi}$) (posvyris);
3. Posūkis kampu θ apie ašį $0z$ ($R_{z,\theta}$) (pokrypis);

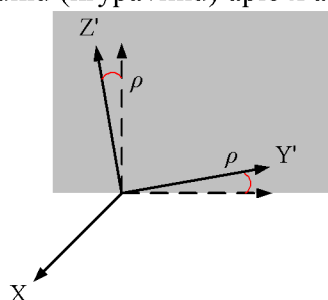
Čia tariama, kad aparato ar sujungimo išilginė ašis sutampa su ašimi z .



5.1 pav. Eulerio kampų sistema

Objekto orientacija y - z plokštumoje aprašoma posūkiu (krypavimu) apie x ašį

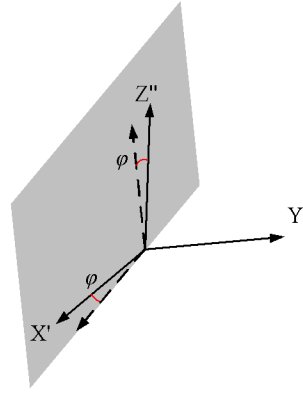
$$R_{x,\rho} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\rho) & -\sin(\rho) \\ 0 & \sin(\rho) & \cos(\rho) \end{pmatrix}$$



Sukimasis y - z plokštumoje

Objekto orientacija x-z plokštumoje aprašoma posūkiu (nuolydžiu/posvyriu) apie y ašį

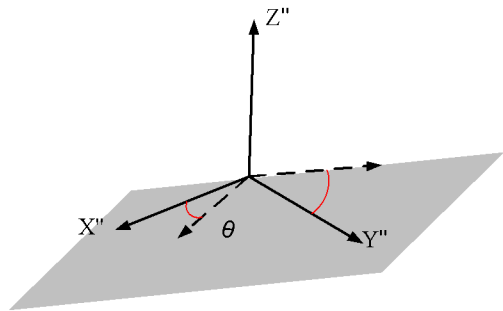
$$R_{y,\varphi} = \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & 0 & \sin(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\varphi) & 0 & \cos(\varphi) \end{pmatrix}$$



Sukimasis x-z plokštumoje

Objekto orientacija x-y plokštumoje aprašoma posūkiu (pokrypis) apie z ašį

$$R_{z,\theta} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



Sukimasis x-y plokštumoje

[18]

Atstojamoji posūkių matrica įgauna tokią formą:

$$R_{\theta,\varphi,\rho} = R_{z,\theta} \cdot R_{y,\varphi} \cdot R_{x,\rho} = \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta & 0 \\ S\theta & C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\varphi & 0 & S\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\varphi & 0 & C\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\rho & -S\rho \\ 0 & S\rho & C\rho \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$R_{\theta,\varphi,\rho} = \begin{bmatrix} C\theta C\varphi & C\theta S\varphi S\rho - S\theta C\rho & C\theta S\varphi C\rho + S\theta S\rho \\ S\theta C\varphi & S\theta S\varphi S\rho + C\theta C\rho & S\theta S\varphi C\rho - C\theta S\rho \\ -S\varphi & C\varphi S\rho & C\varphi C\rho \end{bmatrix}$$

kur $C = \cos$; $S = \sin$.

Įtaisiai, kuriuose naudojami akcelerometrai gali sukurtis aplink x ir y ašis, bet negali sukurtis aplink z ašį. Tuomet atstojamoji posūkių matrica bus:

$$R_{\rho,\varphi} = R_{x,\rho} \cdot R_{y,\varphi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\rho & -S\rho \\ 0 & S\rho & C\rho \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\varphi & 0 & S\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\varphi & 0 & C\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\varphi & 0 & S\varphi \\ S\rho S\varphi & C\rho & -S\rho C\varphi \\ -C\rho S\varphi & S\rho & C\rho C\varphi \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

kur $C = \cos$; $S = \sin$.

6. POSVYRIO KAMPŲ IR ATSTUMO MATUOKLIO PROJEKTAVIMAS

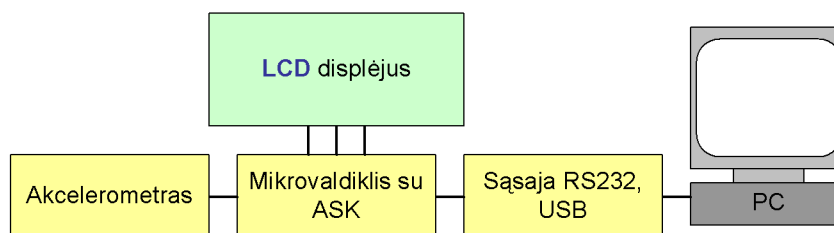
Apžvelgsime akcelerometro, kaip posvyrio jutiklio, pritaikymą. Kaip ir kuom remiantis sudaryta posvyrio matuoklio struktūrinė ir elektrinė principinė schema. Kaip iš akcelerometro išėjimo duomenų surandamas jo posvyrio kampas.

6.1. Akcelerometro pritaikymo sritys

Posvyrio matavimai yra taikomi daugelyje sričių. Tos sritys apima mobiliųjų telefonų rinką, portatyvinės elektronikos rinką, kur posvyrio matavimai gali būti naudojami: meniupasirinkimams valdyti, elektroninio kompas kompensavimui, vaizdų pasukimui, ar priklausomai nuo posvyrio matavimų, tam tikros funkcijos parinkimui. Posvyris medicinoje naudojamas kaip priemonė, pagerinti kraujospūdžio stebėjimo prietaisų tikslumą. Naudojami kaip ligoninės lovų ar kėdžių pakreipimo reguliatoriai. Akcelerometrai kaip posvyrio matuokliai gali būti naudojami projektuojant žaidimų vairalazdes, virtualios tikrovės įvesties prietaisus, HDD (angl. Hard disk drive - kietasis diskas) portatyviniuose prietaisuose, kompiuterių manipulatoriuos, vaizdo kamerose, projektoriuose, skalbimo mašinuose, ir asmeninėse navigacijos sistemose. [19]

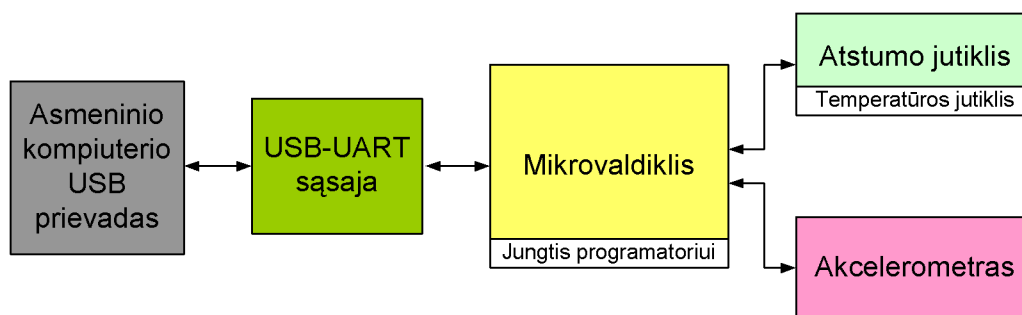
6.2. Posvyrio matuoklio struktūrinės ir elektrinės principinės schemos sudarymas

Remiantis 4 ir 6.1. skyriuje pateikta medžiaga, nuspręsta posvyrio matuokliui naudoti trijų ašių puslaidininkių gamintojo Freescale MMA7260Q akcelerometrą. MMA7260Q yra triašis (XYZ) talpuminis pagreičio daviklis, kurio veikimo principas pagrįstas talpumo kitimu jutiklio trijuose kondensatoriuose, kurie yra vienoje silicio plokštelėje. Akcelerometras gali matuoti statinį ir dinaminį pagreitį. MMA7260Q serijos akcelerometrai pasižymi maža maitinimo įtampa 3.3V, kas leidžia juos naudoti akumuliatoriais maitinamuose įtaisuose, kurie pasižymi mažais matmenimis. Akcelerometro jautrumas 3.3V įtaisuose siekia 800 mV/g. Akcelerometro pagreitis kinta nuo -1g iki +1g, jį sukant nuo -90 iki +90 laipsnių ribose. Akcelerometro struktūrinė jungimo schema pateikta 6.2.1 pav. [19]



6.2.1 pav. MMA7260Q akcelerometro jungimo schema

Posvyrio matuoklio struktūrinė schema 6.2.2 pav., sudaryta remiantis 4-jo skyriaus medžiaga ir 6.2.1 pav. pateikta akcelerometro jungimo schema.



6.2.2 pav. Posvyrio matuoklio struktūrinė schema

Posvyrio matuoklis atstumą iki objekto matuos firmos Devantech ultragarsiniu atstumo jutikliu SRF04 [19]. Kadangi garso greitis ore priklauso nuo temperatūros, tai tikslesniam atstumo iki objekto nustatymui, įvedama temperatūrinė korekcija. Oro temperatūrai matuoti pasirinktas NTC termorezistorius, nes lyginant su kitais temperatūros jutikliais yra pigus ir pakankamai tikslus. Posvyrio kampų matavimui pasirinktas trijų ašių, mažo g (kur g – laisvo kritimo pagreitis; $g = 9.8\text{m/s}^2$) akcelerometras MMA7260Q. Įtaisas prie asmeninio kompiuterio jungiamas per USB-to-UART duomenų srautų valdiklį CP2102. Tai USB 2.0 full-speed įtaisas su integruotu siųstuvu-imtuvu, suderintuvu ir pull-up rezistoriais, naudojamas duomenų keitimuisi tarp kompiuterio ir mikrovaldiklio. Mikrovaldiklio funkcijoms atlikti (atstumo jutikliui, akcelerometrui ir duomenų srautams valdyti) pasirinktas „Atmel“ firmos, AVR 8 bitų RISC (angl. *Reduced Instruction Set Computer* – centrinių procesorių architektūra, pasižyminti paprastesne komandų sistema) architektūros ATmega32L mikrovaldiklis. Jis pasižymi dideliu įvedimo/išvedimo išvadų skaičiumi, didelė programuojamos atminties talpa, turi nuosekliają USART sąsają, kurios dėka gali nesunkiai keistis duomenimis su USB-to-UART tilto valdikliu CP2102. Taip pat turi aštuonis 10 bitų analoginius-skaitmeninius keitiklius, šie išvadai reikalingi matuoti įtampos kritimus ant NTC termorezistoriaus, bei akcelerometro MMA7260Q X, Y, Z ašių išėjimų

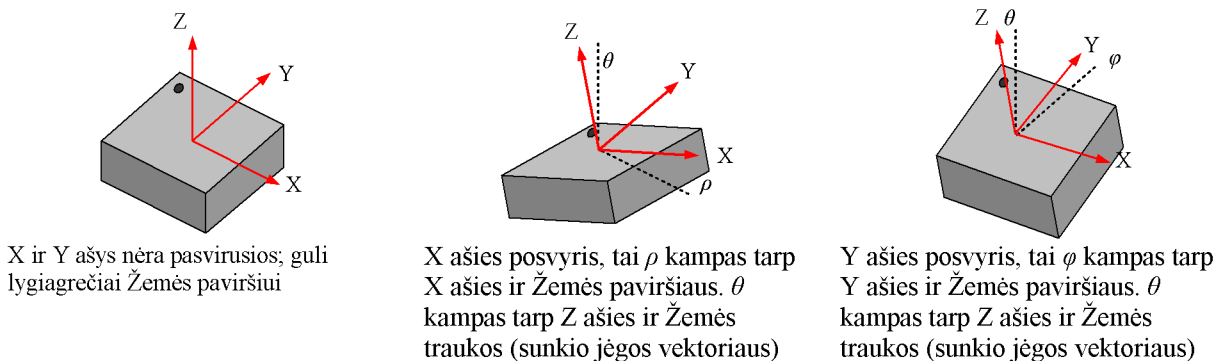
Posvyrio matuoklio maitinimo šaltiniu pasirinktas kompiuterio USB prievadas, prie kurio ir yra jungiamas šis įtaisas. Mikrovaldiklis, ultragarsinis atstumo jutiklis, termorezistorius ir duomenų srautų valdiklis CP2102 yra maitinami 5V įtampa. Akcelerometrui maitinti reikalinga 3.3V įtampa, gaunama iš integruoto CP2102 valdiklyje įtampos reguliatoriaus.

Posvyrio matuoklio elektrinė principinė schema suprojektuota naudojant „CadSoft Eagle 4.16“ schemų projektavimo programą. Plokštėje naudojami paviršinio montažo elementai (angl. SMD – surface mount device), kas leidžia suprojektuoti nedidelių gabaritų įtaiso plokštę.

Vaizdo kameros posvyrio kampų ir atstumo matuoklio elektrinė principinė schema, kuri susideda iš dviejų dalių, bei kiti su įtaisu susiję brėžiniai pateikti prieduose.

6.3. Posvyrio kampų matavimas akcelerometru

Kadangi naudojamas trijų X, Y, Z ašių akcelerometras, Z ašis apjungiamą su X ir Y posvyrio ašimis, kad pagerinti posvyrio jautrumą ir tikslumą. Tai pavaizduota 6.3.1 pav.



6.3.1 pav. X ir Y ašių posvyriai Žemės paviršiaus atžvilgiu

Posvyrio kampai išskaičiuojami iš akcelerometro išėjimo signalų naudojant sekančias išraiškas:

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{OFFSET}} + \left(\frac{\Delta V}{\Delta g} \times 1.0g \times \sin \theta \right) \quad (6.3.1)$$

V_{OUT} – akcelerometro išėjimo įtampa, voltais,
 V_{OFFSET} – akcelerometro įtampa prie 0g,
 $V_{\text{OFFSET}} = 1650 \text{ mV}$,
 $\Delta V/\Delta g = S$ – jautrumas, $\Delta V/\Delta g = 800 \text{ mV/g}$,
 $1g$ – laisvo kritimo pagreitis,
 θ – posvyrio kampas, laipsniais.

Posvyrio kampas randamas iš sekančios išraiškos:

$$\theta = \arcsin \left(\frac{V_{\text{OUT}} - V_{\text{OFFSET}}}{\frac{\Delta V}{\Delta g}} \right); \quad \theta = \arcsin \left(\frac{V_{\text{OUT}} - 1650 \text{ mV}}{800 \text{ mV/g}} \right); \quad (6.3.2)$$

Iš šios lygybės matyti, kad prie 0 laipsnių akcelerometro išėjimo įtampa bus 1650mV, o prie 90 laipsnių - 2450mV.[20]

Akcelerometro posvyrio kampai kiekvienai iš trijų ašių apskaičiuojami sekančiais:

$$\begin{aligned} \rho &= \arcsin(Ax), \\ \varphi &= \arcsin(Ay), \\ \theta &= \arcsin(Az) \end{aligned} \quad \text{kur } A \text{ – pagreitis nurodyta ašimi, } A = \frac{V_{\text{OUT}} - 1650 \text{ mV}}{800 \text{ mV/g}} \quad (6.3.3)$$

Kadangi MV ATmega32L negali tiksliai suskaičiuoti arcsin funkcijos, tai posvyrio kampo skaičiavimą atlieka kompiuteris. X, Y, Z ašių išėjimo signalai kinta pagal sinuso funkciją. Z ašis gali kisti ir pagal kosinuso funkcija. Reikia paminėti, kad posvyrio kampai nėra nuolydžio/posvyrio

(angl. pitch) ir krypavimo (angl. roll) kampai, kurie naudojami aeronautikoje, ir ne krypties kosinuso kampai, nurodantys vektoriaus kryptį, kuriuos daro akcelerometro X ir Y ašių XY fiksuota plokštuma. Z ašies posvyrio kampas rodo objekto, šiuo atveju įtaiso poziciją Žemės traukos atžvilgiu. Jeigu Z kampo reikšmės yra neigiamos, tai reiškia, kad įtaisas yra apverstas dugnu aukštyn, jeigu teigiamos – nėra apverstas. Įtaiso X, Y, Z ašims realizuotas rankinis, pilno diapazono, įtampos prie 0g kalibravimo metodas.

6.4. Atstumo matavimas ultragarsiniu atstumo jutikliu

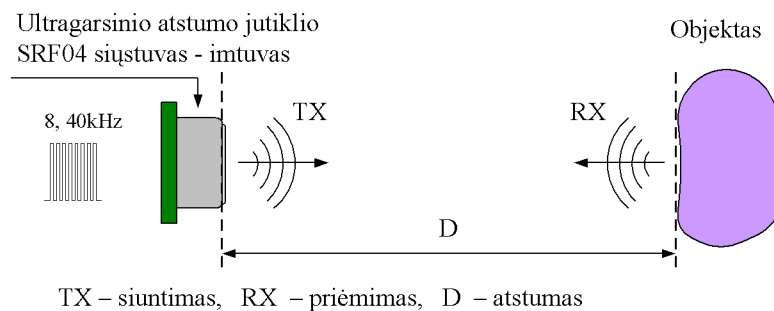
Atstumui iki registruojamo objekto matuoti, naudojamas ultragarsinis atstumo matuoklis „Devantech“ SRF04. Ultragarso bangos yra elastiniai (mechaniniai) virpesiai, kurių dažnis $f > 20 \text{ kHz}$. Ore ultragarso greitis priklauso nuo temperatūros, oro drėgmės bei kitų dujų, ypač anglies dvideginio (CO_2), priemaišų. Sausame ore, kai $T = 20^\circ\text{C}$, jis lygus $v = 343,4 \text{ m/s}$. Ultragarso greičio priklausomybė nuo temperatūros išreiškiama formule:

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{T}{273}}, \quad (6.4.1)$$

čia v_0 yra ultragarso greitis ore, kai $T = 0^\circ\text{C}$: $v_0 = 331,45 \text{ m/s}$,

Tam, kad išvengti temperatūros įtakos, naudojamas NTC termorezistorius, kuriuo matuojama aplinkos temperatūra. Išmatuotas atstumas koreguojamas atsižvelgiant į aplinkos temperatūrą [21].

Į ultragarsinio atstumo jutiklio SRF04 trigerio įėjimą, paduodamas trumpas 10 mikrosekundžių impulsas, kad jutiklis susižadintų. Sužadintas jutiklis sugeneruoja ir išsiunčia aštuonis 40kHz dažnio garso impulsus (toliau bus vadinami pūpsniu). Pūpsnis sklinda oru, kol pasiekia objektą, nuo kurio atsispindi ir sugrįžta atgal (žr. 6.4.1 pav.). Mikrovaldiklis registruoja laiką, kada tas pūpsnis buvo išsiūstas ir kada sugrįžo.



6.4.1 pav. Garso bangos sklidimo pavyzdys.

Atstumas nuo jutiklio iki objekto bus apskaičiuojamas pagal formulę:

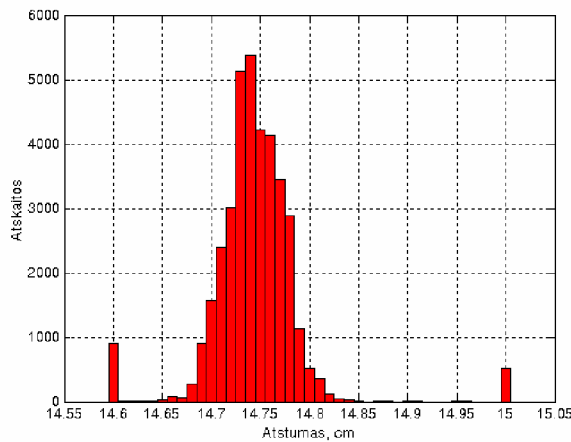
$$S = 0,5 \cdot v \cdot (t_1 - t_0), \quad (6.4.2)$$

čia: S – atstumas iki objekto, m; v – garso greitis, m/s; t_0 – laikas, per kurį išsiunčiamas garso pūpsnis, s; t_1 – laikas, per kurį išsiųstas garso pūpsnis nusklinda iki objekto ir sugrįžta atgal, s.

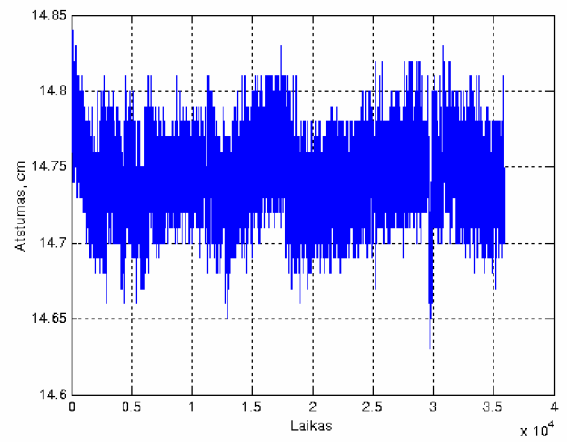
Ultragarsinio atstumo jutiklio tyrimas buvo atliktas bakalauro baigiamajame darbe „Ultragarsinis atstumo įvertinimo įtaisas“ (Šiauliai, 2006). Buvo atlikti tokie tyrimai:

1) kintant aplinkos temperatūrai nuo $+1,89^\circ\text{C}$ iki $-21,58^\circ\text{C}$ ir esant nustatytam 15cm atstumui, kuris išmatuotas matavimo rulete, ultragarsiniu įtaisu įvertintas atstumas yra 14,74cm, neapibrėžtis 0,083 kai pasiklovimo tikimybė 0,999. Išmatuoto atstumo sklaida, oro temperatūrai kintant nuo $+1,89^\circ\text{C}$ iki $-21,58^\circ\text{C}$ parodyta 6.4.2 pav. a), o atstumo kitimas laike, 6.4.2 pav. b).

2) kintant aplinkos temperatūrai nuo $+18^\circ\text{C}$ iki $+19,5^\circ\text{C}$ ir esant nustatytam 15cm atstumui, ultragarsiniu įtaisu įvertintas atstumas yra 15.016cm, neapibrėžtis 0.073 kai pasiklovimo tikimybė 0.999. išmatuotų atstumų sklaida, kintant oro temperatūrai nuo $+18^\circ\text{C}$ iki $+19,5^\circ\text{C}$ parodyta 6.4.3 pav. a), o atstumo kitimas laike, 6.4.3 pav. b).



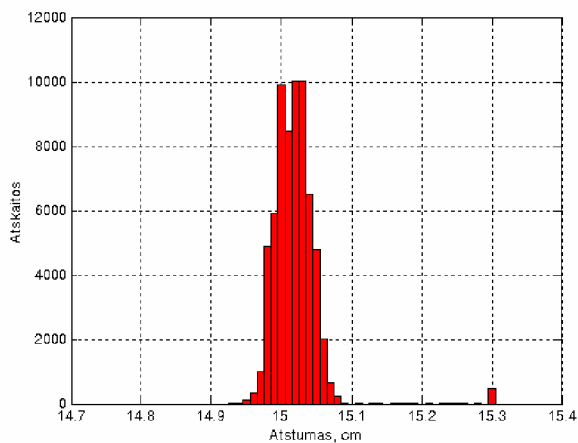
a)



b)

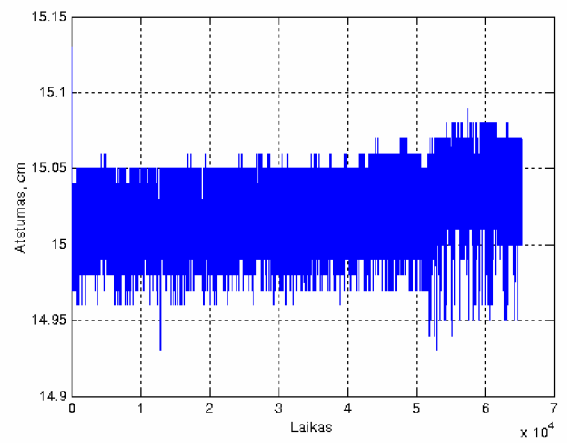
6.4.2 pav. a) išmatuoto atstumo sklaida, oro temperatūrai kintant nuo $+1,89^\circ\text{C}$ iki $-21,58^\circ\text{C}$

b) išmatuoto atstumo kitimas laike



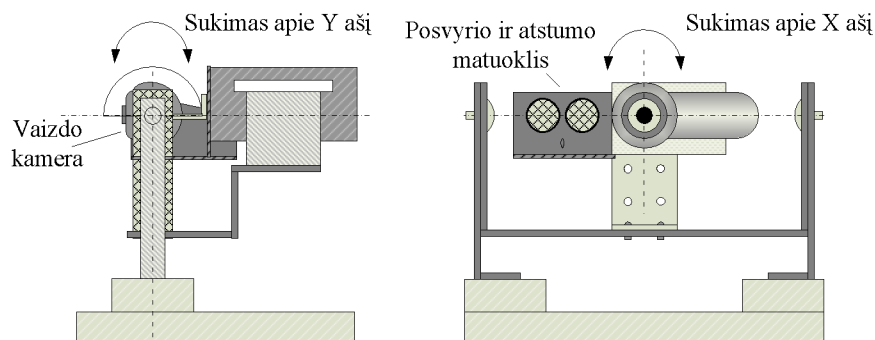
6.4.3 pav. a) išmatuotų atstumų sklaida, kintant oro temperatūrai nuo $+18^\circ\text{C}$ iki $+19,5^\circ\text{C}$

b) išmatuoto atstumo kitimas laike



7. VAIZDŲ ATSTATYMO METODIKA

Tyrimui atlikti, buvo sukonstruotas karkasas, ant kurio tvirtinama vaizdo kamera ir jos posvyrio kampą matuojantis posvyrio matuoklis. Karkasas sukonstruotas taip, kad kamera galėtų sukstis apie savo X ir Y ašį, 7.1 pav.

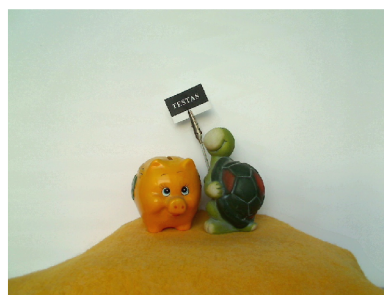
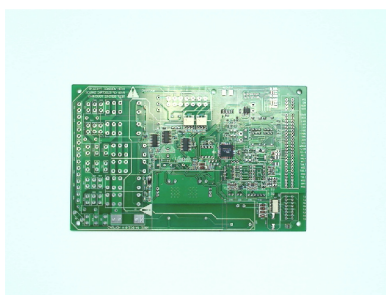


7.1 pav. Vaizdo kameros su papildomais jutikliais karkasas

Vaizdai registruojami 2MP vaizdo kamera, paveikslėlių dydis 960x720 pikselių. Pasirinktas kameros krypavimo ir posvyrio kampų intervalas nuo 0° iki 45° kas 5° . Tyrimui naudojami dviejų skirtingų tipų natiurmortai:

- ant vertikalios plokštumos – sienos, pritvirtinta stačiakampė spausdinto montažo plokštė.
- horizontalioje plokštumoje, ant medžiagos skiautės padėtos dvi figūros.

Pirmasis natiurmortas išsiskiria tuo, kad jame dominuoja horizontalios ir vertikalios linijos, nes spausdinto montažo plokštė yra stačiakampė. Antrajame natiurmorte aiškios horizontalios ir vertikalios linijos neišsiskiria, šis natiurmortas yra sudėtingesnis už pirmąjį. Antrasis natiurmortas naudojamas pirmojoje tiriamojo darbo praktinėje dalyje, vaizdo kamerą sukant apie X ašį.



7.2 pav. Tiriamajame darbe naudotų natiurmortų vaizdai

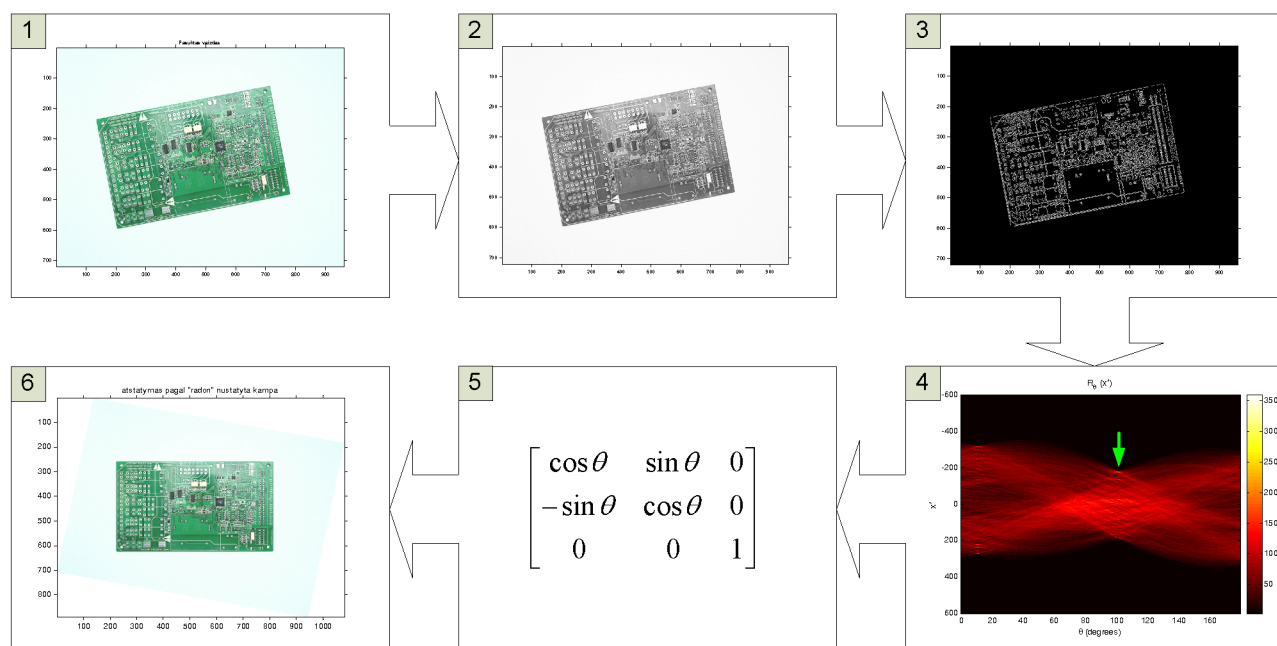
Vaizdų iškraipymų atstatymams atlikti pasirinktas *MathWorks, Inc* MATLAB 7.0 paketas. Tai viena galingiausių specialios paskirties kompiuterinių programų, skirtų automatizuoti, modeliuoti mokslinius ir inžinerinius skaičiavimus. Modeliavimas buvo atliekamas siekiant įvertinti sudaryto matematinio modelio patikimumą atstatant iškreiptus vaizdus. Ištirti kokia tinkamiausia atstatytų vaizdų koreliacijos su originaliu vaizdu paieškos zona.

7.1. Vaizdų atstatymas sukant kamerą apie X ašį

Tyrimą sudaro dvi dalys: pirmoji – vaizdo posūkio kampas nustatomas naudojant „radon“ transformaciją; antroji – vaizdo posūkio kampas nustatomas pagal išmatuotą kameros krypavimo kampą. Metodo patikimumui nustatyti, atstatyti vaizdai palyginami su pradiniais - originaliais, nepasuktais vaizdais.

7.1.1. Vaizdo atstatymas pagal „radon“ transformacijos nustatytą posūkio kampą

Automatiškai vaizdo posūkio kampas nustatomas „radon“ transformacija. Taikant šį metodą, tam tikru kameros pasukimo apie X ašį kampu, gautas spalvotas vaizdas paverčiamas į nespalvotą vaizdą. Iš nespalvoto vaizdo surandami objektų kraštai. Kraštų suradimui pasirinktas Sobel metodas. Kraštai surandami išvestinės skaičiavimui naudojant Sobel aproksimaciją. Surandami kraštai taškuose, kuriuose vaizdo intensyvumo gradientas turi maksimumą. Techniškai Sobel metode naudojamas operatorius yra diskretinis diferenciacijos operatorius, kuris skaičiuoja vaizdo intensyvumo funkcijos gradiento aproksimaciją. Kiekviename vaizdo taške, Sobel operatorius, gražina atitinkamą gradiento vektorių arba šio vektoriaus normą. Sobel operatorius pagrįstas vaizdo su mažų, atskiriamų, sveikų skaičių filtro sąsuka vertikalia ir horizontalia kryptimi. Suradus vaizdo kraštus, galima atlikti „radon“ transformaciją, t.y. surasti „radon“ transformacijos matricioje stipriausių pikų vietas. Surastos stipriausios pikų vietos (7.1.1.1 pav., 4 dalis) atitinka tiesių linijų vietas originaliaame vaizde.



7.1.1.1 pav. Iškreipto vaizdo atstatymo etapų struktūrinė schema

Suradus vaizdo pasukimo kampą, galima atstatyti vaizdą sudarius pasukimų transformacijos matricą R .

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (7.1.1.1)$$

kur θ vaizdo pasukimo kampas su priešingu ženklu.

Sudarytą transformacijos matricą R , reikia įtraukti į transformacijos struktūrą, kuri sudaroma naudojant „maketform()“ funkciją. Sudarius transformacijos struktūrą, galima transformuoti vaizdą. Ataizdo transformavimui naudojama „imtransform()“ funkcija. Tyrimo rezultatai pateikti 8 skyriuje.

7.1.2. Vaizdo atstatymas pagal išmatuotą posūkio kampą

Šis vaizdo atstatymo metodas sudarytas remiantis tiesinėmis ir erdvinėmis transformacijomis. Sukonstruotu posvyrio matuokliu yra išmatuojamas vaizdo kameros, kuria registruojamas aplinkos vaizdas, posvyrio, šiuo atveju krypavimo, kampas. Krypavimo kampas laipsniais perskaičiuojamas į radianus ir su priešingu ženklu įstatomas į transformacijos matricą R (7.1.1. poskyriaus 7.1.1.1 išraiška). Kameros krypavimo kampas rašomas su priešingu ženklu tam, kad būtų galima pasukti-atstatyti vaizdą. Matrica R įtraukiama į funkcijos „maketform()“ transformacijos struktūrą. Vaizdo atstatymas vykdomas „imtransform()“ funkcija. Tyrimo rezultatai pateikti 8 skyriuje.

7.1.3. Atstatyto ir originalaus vaizdo palyginimo metodas

Abiem metodais atstačius pasuktus vaizdus, reikia juos palyginti su originaliu vaizdu. Vaizdų palyginimui naudojama koreliacijos funkcija „corr2()“. Šia funkcija paskaičiuojamas dvimatis koreliacijos koeficientas tarp dviejų to paties dydžio vaizdo matricų.

$$\rho = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2\right)}}, \quad (7.1.3.1)$$

kur \bar{A} , \bar{B} yra A ir atitinkamai B vaizdo matricų vidurkiai [22]

Atstatytas vaizdas yra didesnis už originalų vaizdą. Tam, kad vaizdo matricos sutaptų, reikia dalį vaizdo iškirpti ir palyginti su originaliu vaizdu. Iškirpimas vykdomas „imcrop()“ funkcija. Iškirpimo operacijai ir koreliacijos koeficiento skaičiavimui sudaromas „for“ ciklas, kad iškirptas

stačiakampis iš atstatyto vaizdo kuo geriau sutaptų su originaliu vaizdu. Atliekant tyrimą su pirmuoju natiurmortu, iš atstatyto vaizdo iškerpamas 960x720 dydžio stačiakampis, kuris lyginamas su tokio pat dydžio originaliu vaizdu. Atliekant tyrimą su antruoju natiurmortu, norint gauti kuo didesnę koreliacijos koeficientą, iš originalaus vaizdo buvo iškirptas 550x450 dydžio stačiakampis. Iškirptas stačiakampis lyginamas su tokio pat dydžio stačiakampiais, kurie iškerpami iš atstatyto vaizdo vykdant „for“ ciklą. Tyrimo rezultatai pateikti 8 skyriuje.

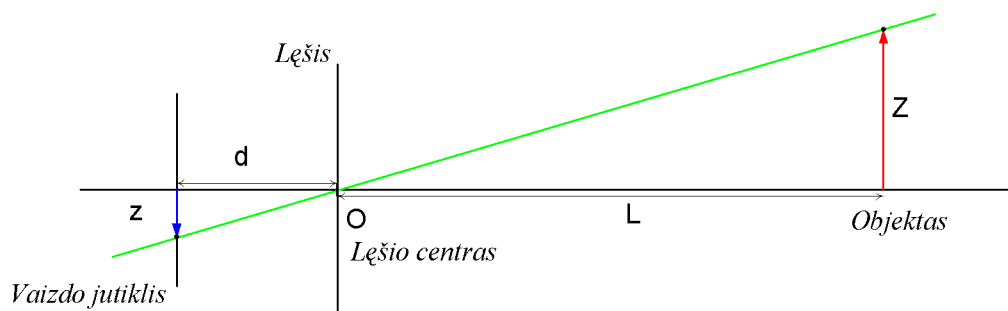
7.2. Vaizdų atstatymas sukant kamerą aplink Y ašį

Kaip jau buvo minėta, vaizdų iškraipymai dėl kameros nuolydžio kampo, vadinami perspektyvos iškraipymais. Panaudojant kameros nuolydžio kampą ir atstumą iki objekto, reikia sudaryti matematinį modelį, gebantį ištaisyti vaizdų perspektyvos iškraipymus.

Sudaryto matematinio modelio efektyvumui patikrinti, atliekamas 2.3 poskyryje aprašytas metodas. Abiejų metodų tyrimo rezultatų analizė pateikiama 8 skyriuje.

7.2.1. Perspektyvos iškraipimų atstatymo matematinis modelis

Matematinis modelis sudaromas pagal tai, kaip apie Y ašį pasuktos kameros vaizdo jutiklyje projektuojami registruojami objektai. Robotų regoje dažniausiai naudojamas „pinhole“ (mažos skylutės) kameros modelis. Modelis pavaizduotas 7.2.1.1 pav., paremtas tuo, kad visi nuo scenos (dekoracijų) sklindantys šviesos spinduliai praeina pro mažą skylutę. Spinduliai praeinantys pro mažą skylutę yra laužiami ir vaizdo plokštumoje suprojektuojamas apverstas objekto atvaizdas.



7.2.1.1 pav. Objektų projektavimas vaizdo kameros jutiklyje.

Tarp objekto atvaizdo aukščio (z) (žr. 7.2.1.1 pav.) santykio su jo nuotoliu nuo lėšio (d) ir tikrojo objekto aukščio (Z) santykio su jo nuotoliu nuo lėšio (L), egzistuoja lygybė:

$$-\frac{z}{d} = \frac{Z}{L}, \quad (7.2.1.1)$$

iš čia seka:

$$z = -d \frac{Z}{L}, \text{ kur } z \text{ išreiškiamas ilgio vienetais.} \quad (7.2.1.2)$$

Kadangi visos vaizdų atstatymo operacijos atliekamos su nuotraukomis, kurių mažiausias vaizdo elementas yra pikselis, todėl ilgio vienetus reikia išreikšti – pikseliais. Tam įvedamas taip

vadinamas k koeficientas, kur $[k] = \frac{\text{pikseliai}}{\text{cm}}$, tada:

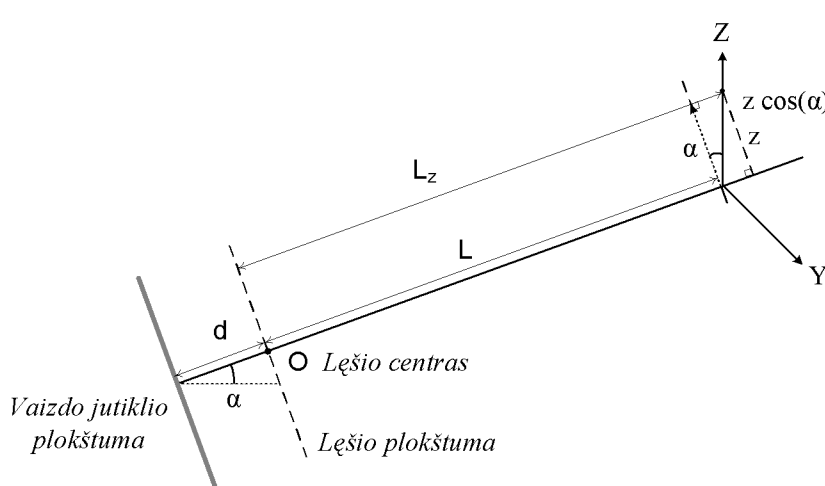
$$z_v = -k d \frac{Z}{L}, \quad (7.2.1.3)$$

kur z_v – išreiškiamas pikseliais (objekto taško koordinatė vaizdo jutiklyje).

Įvedamas pakeitimas $K = k d$.

$$z_v = -K \frac{Z}{L}. \quad (7.2.1.4)$$

Pasukus vaizdo kamerą apie Y ašį aukštyn, pasisuka vaizdo jutiklio plokštuma taip, kaip parodyta 7.2.1.2 pav.



Čia:

α – kameros nuolydžio kampas;

L – atstumas tarp lęšio plokštumos ir objekto taško;

L_z – atstumas tarp lęšio plokštumos ir objekto taško, po vaizdo kameros pasukimo;

Z, Y – objekto plokštumos ašys,

7.2.1.2 pav. Vaizdo jutiklio plokštumos padėtis vertikalios plokštumos atžvilgiu, pasukus kamerą aukštyn apie Y ašį.

Pasukus kamerą tam tikru kampu α , pasikeičia objekto taško, kurio koordinatės (X, Y) , atstumas iki lęšio plokštumos:

$$L_z = L + Z \sin(\alpha). \quad (7.2.1.5)$$

Koordinatė z_v vaizdo jutiklyje išreiškiama lygtimi:

$$z_v = -K \frac{Z \cos(\alpha)}{L + Z \sin(\alpha)}. \quad (7.2.1.6)$$

Koordinatė y_v vaizdo jutiklyje išreiškiama lygtimi:

$$y_v = -K \frac{Y}{L + Z \sin(\alpha)}. \quad (7.2.1.7)$$

Kadangi tyrimas atliekamas su neinvertuotu vaizdu, tai matematinio modelio sudaryme išraiškos (7.2.1.6) ir (7.2.1.7) naudojamos be minuso ženklo. Originalus spalvotas objekto atvaizdas, gautas nepasukus vaizdo kameros, yra transformuojamas į juodai baltą (angl. greyscale). Tas pats padaroma su vaizdu, gautu pasukus vaizdo kamerą apie Y ašį. Pagal kameros pasukimo (nuolydžio) kampo ir jos nuotolio nuo objekto duomenis, pasuktam vaizdui sudaromas tinklelis. Tinklelis sudaromas ir originaliam vaizdui, kurio dydis ir forma atitinka paveikslėlyje esantį objektą. Iškreipto vaizdo atstatymo operacijos atliekamos naudojant tinklelį. Iš originalaus paveikslėlio iškerpamas stačiakampis, kurio dydis sutampa su tinklelio dydžiu. Sudaromas ciklas, kurio metu pagal pasirinktą paieškos sritį, iškreipto vaizdo tinklelis taikant interpoliaciją sulyginamas su originalaus (neiškreipto) vaizdo tinkleliu ir paskaičiuojamas vaizdų koreliacijos koeficientas. Pagal koreliacijos koeficiento vertę galima spręsti apie sudaryto modelio efektyvumą.

7.2.2. Perspektyvos iškraipymų atstatymas pagal keturis objekto kampus

Tyrimas atliekamas taip, kaip aprašyta 2 skyriuje. Pirmiausiai įvedamos vaizdo plokštumos koordinatės. Koordinatės išreiškiamos santykiu: paveikslėlio plotis: paveikslėlio aukštis = 438: 300. Įvedamas vienas pasirinktas paveikslėlis. Parašytas algoritmas nuskaito paveikslėlį, jį išveda kompiuterio ekrane. Išvestame paveikslėlyje, rankiniu būdu, reikia pasirinkti keturis objekto kampus. Nuo to, kaip tiksliai bus pasirinkti objekto kampai, priklausys perspektyvos iškraipymų atstatymo tikslumas. Pagal pasirinktų keturių objekto kampų duomenis, sudaroma matrica D:

$$D = \begin{bmatrix} X_o(1) & Y_o(1) & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_i(1)*X_o(1) & -X_i(1)*Y_o(1) \\ 0 & 0 & 0 & X_o(1) & Y_o(1) & 1 & -Y_i(1)*X_i(1) & -Y_i(1)*Y_o(1) \\ X_o(2) & Y_o(2) & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_i(2)*X_o(2) & -X_i(2)*Y_o(2) \\ 0 & 0 & 0 & X_o(2) & Y_o(2) & 1 & -Y_i(2)*X_i(2) & -Y_i(2)*Y_o(2) \\ X_o(3) & Y_o(3) & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_i(3)*X_o(3) & -X_i(3)*Y_o(3) \\ 0 & 0 & 0 & X_o(3) & Y_o(3) & 1 & -Y_i(3)*X_i(3) & -Y_i(3)*Y_o(3) \\ X_o(4) & Y_o(4) & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_i(4)*X_o(4) & -X_i(4)*Y_o(4) \\ 0 & 0 & 0 & X_o(4) & Y_o(4) & 1 & -Y_i(4)*X_i(4) & -Y_i(4)*Y_o(4) \end{bmatrix} \quad (7.2.2.1)$$

ir vektorius b:

$$b = [X_i(1) \ Y_i(1) \ X_i(2) \ Y_i(2) \ X_i(3) \ Y_i(3) \ X_i(4) \ Y_i(4)]^t \quad (7.2.2.2)$$

Panaudojant matricą D ir vektorių b , sudaroma homogeninė matrica H pagal kurią atstatomas iškreiptas vaizdas.

$$H = \begin{bmatrix} h(1) & h(2) & h(3) \\ h(4) & h(5) & h(6) \\ h(7) & h(8) & 1 \end{bmatrix}, \quad (7.2.2.3)$$

kur $h = \text{inv}(D) \cdot b$.

Atstatyto vaizdo palyginimui su originaliu vaizdu, sudaromas ciklas. Ciklo metu iš originalasu vaizdo iškirptas stačiakampis lyginamas su tokio pat dydžio sritimi atstatytame vaizde. Kuo koreliacijos koeficientas didesnis, tuo geriau atliktas iškreipto vaizdo atstatymas.

7.3. Išvados

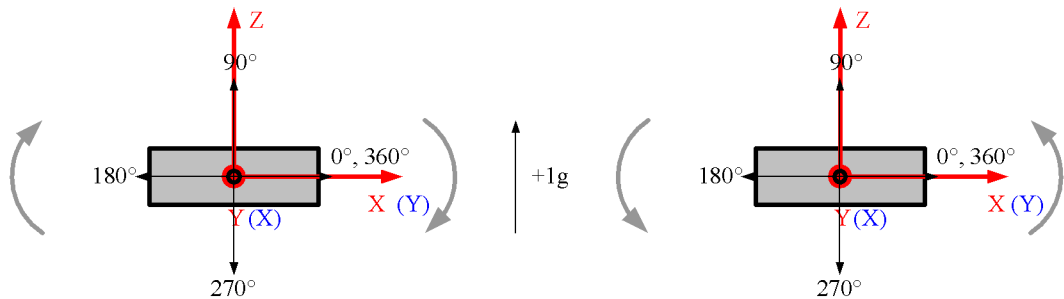
Vaizdų atstatymas, kamerai darant posūkį apie X ašį, priklauso nuo išmatuoto krypavimo kampo tikslumo. Siekiant maksimalaus tikslumo, reikia atsižvelgti dar į keletą aspektų: kameros lęšių optinio efekto, vaizdo sudėtingumo, iškerpamo stačiakampio ribų parinkimo.

8. TYRIMO REZULTATAI

Šiame skyriuje pateikiami tyrimų, atliktų su posvyrio matuokliu, vaizdų atstatymo metodais, rezultatai, jų analizė, išvados.

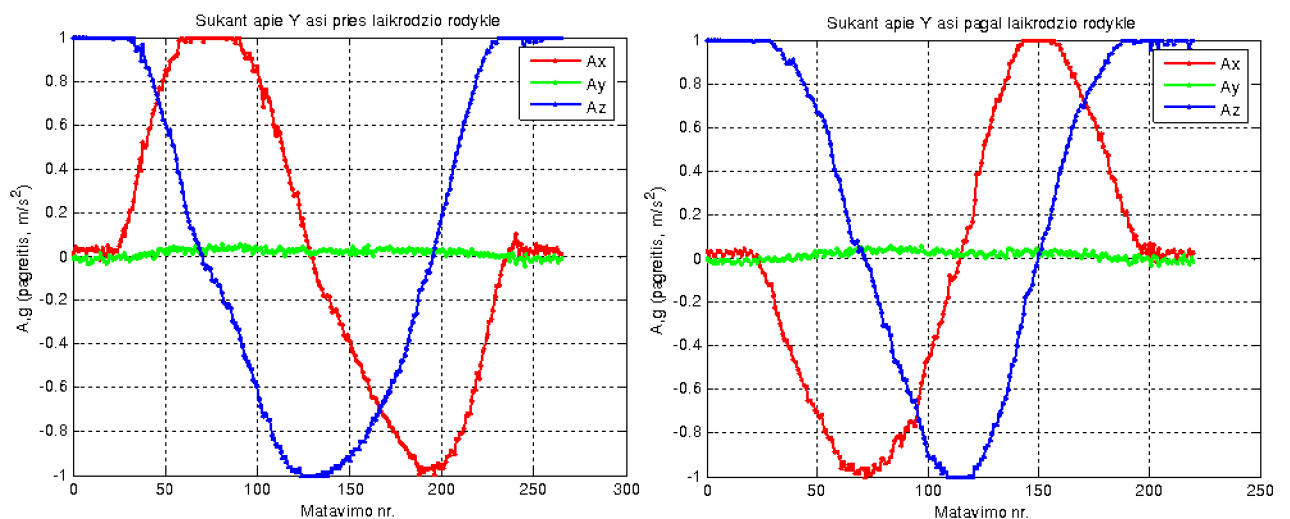
8.1. Posvyrio matuoklio tyrimas

Remiantis išnagrinėta literatūra, kurioje teigiama, kad akcelerometrai, kurių mažas g , pagrindinai naudojami nustatyti krypavimo (ρ), nuolydžio (φ) ir pakrypimo (θ) kampus, tarp Žemės ir X, Y, Z ašių. Pirmiausiai posvyrio matuoklis pritvirtinamas prie vertikalios plokštumos, kurią galima sukti 360° kampu pagal laikrodžio ir prieš laikrodžio rodyklę taip, kad jo X ašis sutaptų su plokštumos sukimosi ašimi, 8.1.1 pav.

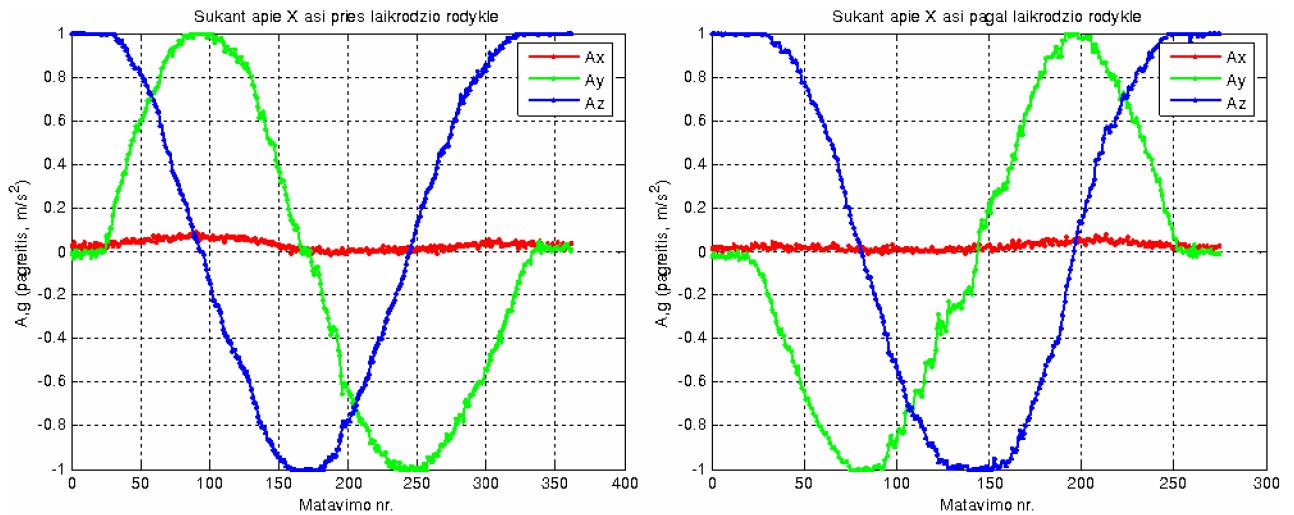


8.1.1 pav. Posvyrio matuoklio sukimas 360° kampu

Tokiu būdu sukant plokštumą, ant kurios pritaisytas matuoklis, keisis kampas tarp Žemės ir matuoklio Y bei Z ašių. Po to matuoklis pritvirtinamas taip, kad jo Y ašis sutaptų su plokštumos sukimosi ašimi, tuomet keičiasi kampas tarp Žemės ir matuoklio X bei Z ašių, 8.1.1 pav. Kaip kinta akcelerometro pagreitis, pagal kurį paskaičiuojami matuoklio krypavimo, nuolydžio ir pakrypimo kampai, sukant matuoklį apie Y ašį parodyta 8.1.2 pav., o 8.1.3 pav., kaip kinta sukant apie X ašį.



8.1.2 pav. Akcelerometro pagreičio kitimo grafikai, sukant matuoklį apie Y ašį: pirmas – sukant prieš laikrodžio rodyklę, antras – sukant pagal laikrodžio rodyklę



8.1.3 pav. Akcelerometro pagreičio kitimo grafikai, sukant matuoklį apie X ašį: pirmas – sukant prieš laikrodžio rodyklę, antras – sukant pagal laikrodžio rodyklę

Iš 8.1.2 pav. ir 8.1.3 pav. pateiktų grafikų, kurie sudaryti iš duomenų, gautų tyrimo metu, matyti, kad pagreitis Z ašies kryptimi abiematvejais yra toks pat, skiriasi tik X ir Y ašių pagreičiai priklausomai nuo to, apie kurią ašį yra sukamas matuoklis. Sukant apie Y ašį, kinta X ir Z ašių pagreičiai, Y ašies – išlieka pastovus. Sukant apie X ašį – atvirkščiai. Remiantis tokiais duomenų pasiskirstymais, sudarysime 8.1.1 lentelę. Lentelėje pateikiami posvyrio matuoklio duomenys (pagreičio reikšmės ir jas atitinkantys posvyrio kampai tarp Žemės ir matuoklio X ir Z ašių, bei tų ašių išėjimo įtampos), sukant jį apie Y ašį prieš laikrodžio rodyklę. O 8.1.2 lentelėje pateikiami idealūs, etaloniniai duomenys, kuriuos nurodo akcelerometro, kuris yra posvyrio matuoklio sudedamoji dalis, gamintojas. Kadangi sukimo apie X ašį duomenų kitimo principas panašus į sukimo apie Y ašį, tai jie nebus analizuojami.

8.1.1 lentelė

Tyrimo metu gauti duomenys, sukant posvyrio matuoklį apie Y ašį prieš laikrodžio rodyklę

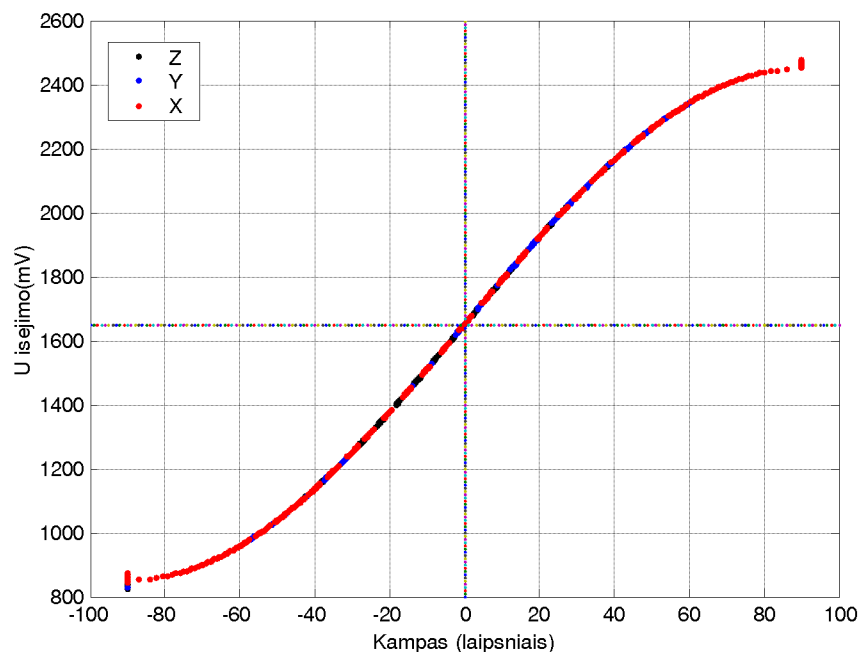
| Kampai, kuriais sukamas įtaisas apie Y ašį, ° | X ašies | | | Z ašies | | |
|-----------------------------------------------|----------|----------------|--------|----------|------------------|--------|
| | A_x, g | $\rho, ^\circ$ | X(V) | A_z, g | $\theta, ^\circ$ | Z(V) |
| 0 | 0 | 0 | 1.6450 | 1 | 89.988 | 2.4598 |
| 45 | 0.7106 | 45.2878 | 2.2185 | 0.7323 | 47.0854 | 2.2359 |
| 90 | 1 | 90 | 2.4673 | 0.0132 | 0.7540 | 1.6605 |
| 135 | 0.7296 | 46.8579 | 2.2337 | -0.7104 | -45.2707 | 1.0817 |
| 180 | 0.0013 | 0.0744 | 1.6469 | -0.9982 | -89.6993 | 0.8476 |
| 225 | -0.6855 | -43.2805 | 1.1016 | -0.7366 | -47.4453 | 1.0607 |
| 270 | -0.9825 | -87.4584 | 0.8492 | 0.0025 | 0.1432 | 1.6292 |
| 315 | -0.6932 | -43.8869 | 1.0954 | 0.7211 | 46.1471 | 2.2269 |
| 360 | 0 | 0 | 1.6450 | 1 | 89.988 | 2.4598 |

Idealūs duomenys, sukant posvyrio matuoklį apie Y ašį prieš laikrodžio rodyklę

| Kampai, kuriais sukamas įtaisas apie Y ašį, ° | X ašies | | | Z ašies | | |
|--------------------------------------------------|--------------------|------------|------|--------------------|--------------|------|
| | A _x , g | ρ , ° | X(V) | A _z , g | θ , ° | Z(V) |
| 0 | 0 | 0 | 1.65 | 1 | 90 | 2.45 |
| 45 | 0.707 | 45 | 2.05 | 0.707 | 45 | 2.05 |
| 90 | 1 | 90 | 2.45 | 0 | 0 | 1.65 |
| 135 | 0.707 | 45 | 2.05 | -0.707 | -45 | 1.25 |
| 180 | 0 | 0 | 1.65 | -1 | -90 | 0.85 |
| 225 | -0.707 | -45 | 1.25 | -0.707 | -45 | 1.25 |
| 270 | -1 | -90 | 0.85 | 0 | 0 | 1.65 |
| 315 | -0.707 | -45 | 1.25 | 0.707 | 45 | 2.05 |
| 360 | 0 | 0 | 1.65 | 1 | 90 | 2.45 |

Sukant posvyrio matuoklį apie Y ašį pagal laikrodžio rodyklę, gauti duomenys bus tokie pat, tik atvirkščiai išsidėstę. Tai yra, duomenys esantys prie 45° sukant prieš laikrodžio rodyklę, bus prie 315° sukant pagal laikrodžio rodyklę. Duomenys sutampa ties 0-360° ir 180° posūkio kampais.

Sukant įtaisą prieš laikrodžio rodyklę nuo -90° iki 90° ribose, gauti išėjimo signalai iš akcelerometro, pateikti 8.1.4 pav. Gautas grafikas panašus į sinuso funkciją. Tarp įtaiso pokrypio laipsnių ir pagreičio reikšmių kitimo egzistuoja tiesinis ryšys. Kreivės nuožulnumas rodo įtaiso jautrumą. Jautrumas didžiausias intervale nuo -45° iki +45°.



8.1.4 pav. Išėjimo įtampų priklausomybė nuo posvyrio kampų

8.2. Vaizdų atstatymo rezultatai sukant kamerą apie X ašį

Pirmiausiai buvo atliktas tyrimas naudojant paprastą natiurmortą - spausdinto montažo plokštę pritvirtinta prie sienos. Kameros krypaviko kampas matuojamas posvyrio matuokliu, o automatiniam kameros krypavimo kamui iš aplinkos vaizdo nustatyti, buvo naudojama „radon“ funkcija. Kaip jau buvo minėta, „radon“ funkcija naudojama tiesioms linijoms aptikti. Tyrimą sudaro dvi dalys:

- vaizdas registruojamas sukant kamerą prieš laikrodžio rodyklę,
- vaizdas registruojamas sukant kamerą pagal laikrodžio rodyklę

Iš atstatyto vaizdo, iškerpamam stačiakampiui parinkta ± 20 pikselių paklaida. Paklaida užtikrina, kad pasirinktas pradinis taškas, nuo kurio pradedamas stačiakampio kirpimas, sutampa su tašku, esančiu originaliame vaizde. Gauti tyrimo rezultatai, sukant kamerą pagal laikrodžio rodyklę pateikti 8.2.1 lentelėje, o sukant prieš laikrodžio rodyklę pateikti 8.2.2 lentelėje.

8.2.1 lentelė

Sukant kamerą pagal laikrodžio rodyklę

| Eil. Nr. | $\theta_{must}, ^\circ$ | $\theta_{iš}, ^\circ$ | ρ nuo $\theta_{must.}$ | ρ nuo $\theta_{iš}$ |
|----------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 | 6 | 5.7335 | 0.9125 | 0.9048 |
| 2 | 11 | 10.4808 | 0.9063 | 0.8744 |
| 3 | 15 | 15.0808 | 0.8706 | 0.8741 |
| 4 | 20 | 20.0794 | 0.8775 | 0.8824 |
| 5 | 26 | 25.4925 | 0.9642 | 0.9088 |
| 6 | 30 | 30.0224 | 0.9072 | 0.9106 |
| 7 | 35 | 35.1519 | 0.9145 | 0.9385 |
| 8 | 40 | 40.5026 | 0.8942 | 0.9514 |
| 9 | 45 | 45.4397 | 0.9118 | 0.9454 |

8.2.2 lentelė

Sukant kamera prieš laikrodžio rodyklę

| Eil. Nr. | $\theta_{must}, ^\circ$ | $\theta_{iš}, ^\circ$ | ρ nuo $\theta_{must.}$ | ρ nuo $\theta_{iš}$ |
|----------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 | -5 | -4.7598 | 0.8974 | 0.9144 |
| 2 | -10 | -9.7427 | 0.8967 | 0.9104 |
| 3 | -15 | -14.9688 | 0.9041 | 0.9071 |
| 4 | -20 | -19.8706 | 0.8957 | 0.9022 |
| 5 | -24 | -24.5692 | 0.9581 | 0.9096 |
| 6 | -30 | -30.0257 | 0.8993 | 0.8982 |
| 7 | -35 | -34.9226 | 0.9006 | 0.9033 |
| 8 | -40 | -39.8700 | 0.8964 | 0.9006 |
| 9 | -45 | -45.0395 | 0.9058 | 0.9042 |

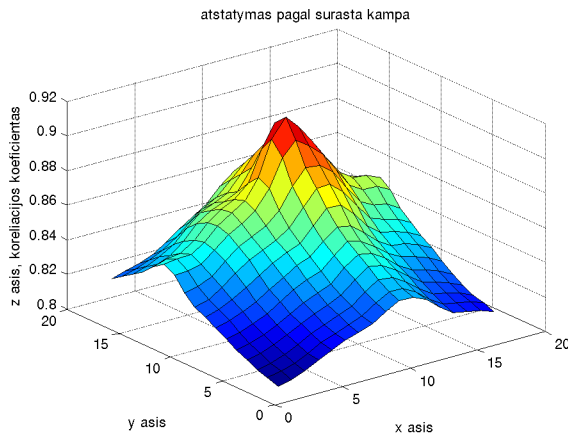
$\theta_{must.}$ – „radon“ funkcijos nustatytas pasukimo kampas;

$\theta_{iš}$ – išmatuotas pasukimo kampas;

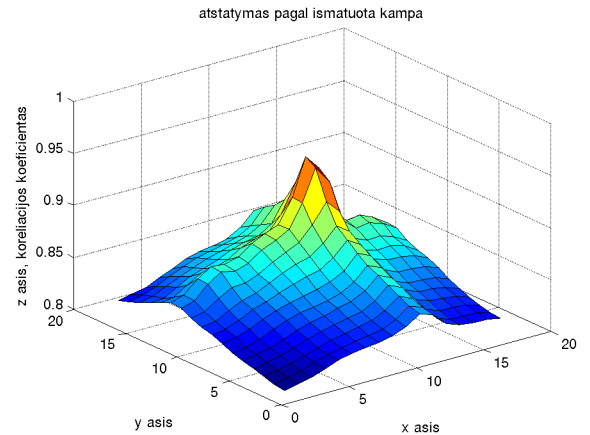
ρ nuo $\theta_{must.}$ – koreliacijos koeficientas lyginant originalų vaizdą su atstatytą pagal „radon“ funkcijos nustatytą pasukimo kampa;

ρ nuo $\theta_{iš}$ – koreliacijos koeficientas, lyginant originalų vaizdą su atstatytą pagal išmatuotą pasukimo kampa.

Remiantis tyrimo rezultatais, tiek pagal „radon“ funkcija, tiek ir pagal posvyrio matuokliu nustatytą kameros krypavimo kampa, galima pakankamai tiksliai atstatyti pasuktą vaizdą. 8.2.1 pav. pateikti grafikai, kuriuose matyti kaip nuo iškerpamo, iš atstatyto vaizdo, stačiakampio ribų, pasiskirsto koreliacijos koeficientai.



Nustatytas kampas 45° ; $\rho = 0.9118$



Išmatuotas kampas 45.4397° ; $\rho = 0.9454$

8.2.1 pav. Koreliacijos koeficientų pasiskirstymo grafikai

Grafiko viršūnė žymi aukščiausią tašką, maksimaliausią koreliacijos koeficientą. Kuo koreliacijos koeficientas didesnis, artimas 1, tuo vaizdo atstatymas yra geresnis.

Tyrimui naudojant sudėtingesnę natūrmortą – ant medžiagos skiautės padėtos dvi figūros, paaiškėjo, kad „radon“ funkcija automatiniam kameros krypavimo kampui nustatyti netinka. Netinka, nes vaizde nedominuoja aiškios tiesios linijos, kaip pirmajame natūrmorte. Todėl kameros krypavimo kampas buvo matuojamas posvyrio matuokliu. Išmatuotą kampą pavertus radianais, įstačius į sukimo transformacijos matricą R ir atlikus vaizdo transformaciją, gauti rezultatai pateikti 8.2.3 ir 8.2.4 lentelėse.

8.2.3 lentelė

Sukant kamerą pagal laikrodžio rodyklę

| Eil. Nr. | $\theta_{i\bar{s}}, ^\circ$ | ρ nuo $\theta_{i\bar{s}}$ |
|----------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 | 4.5496 | 0.9947 |
| 2 | 10.4179 | 0.9915 |
| 3 | 15.0689 | 0.9920 |
| 4 | 20.4012 | 0.9900 |
| 5 | 25.3246 | 0.9922 |
| 6 | 30.5478 | 0.9919 |
| 7 | 35.1228 | 0.9889 |
| 8 | 40.7411 | 0.9923 |
| 9 | 45.8627 | 0.9900 |

8.2.4 lentelė

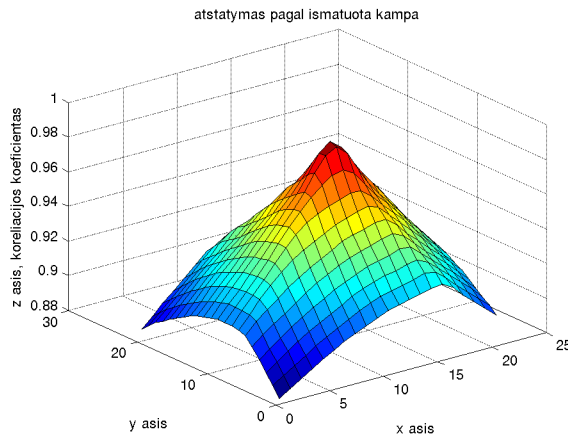
Sukant kamera prieš laikrodžio rodyklę

| Eil. Nr. | $\theta_{i\bar{s}}, ^\circ$ | ρ nuo $\theta_{i\bar{s}}$ |
|----------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 | -5.1825 | 0.9957 |
| 2 | -9.9233 | 0.9929 |
| 3 | -15.4198 | 0.9956 |
| 4 | -20.4553 | 0.9948 |
| 5 | -25.2990 | 0.9946 |
| 6 | -30.5527 | 0.9931 |
| 7 | -35.6705 | 0.9920 |
| 8 | -40.0822 | 0.9923 |
| 9 | -45.3411 | 0.9906 |

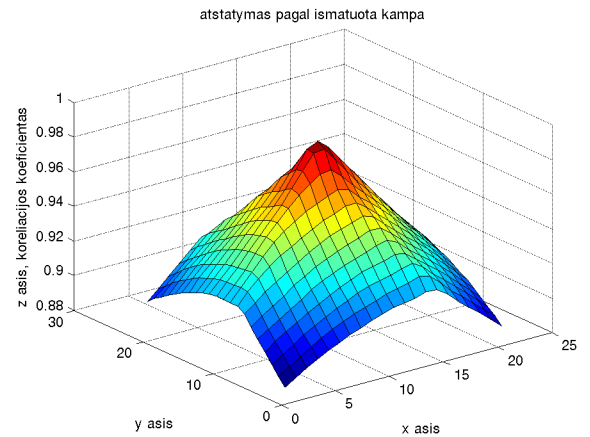
$\theta_{i\bar{s}}$ – išmatuotas pasukimo kampas;

ρ nuo $\theta_{i\bar{s}}$ – koreliacijos koeficientas, lyginant originalų vaizdą su atstatytu pagal išmatuotą pasukimo kampą.

Iš originalaus vaizdo buvo iškerpamas 550×450 pikselių dydžio stačiakampis. Tokio pat dydžio stačiakampis iškerpamas iš atsaityto vaizdo su ± 10 pikselių paklaida. Atlikus maksimalaus koreliacijos koeficiento paiešką, gauti gana geri rezultatai. 8.2.2 pav. pateikti grafikai, kuriuose matyti kaip nuo iškerpamo, iš atstatyto vaizdo, stačiakampio ribų, pasiskirsto koreliacijos koeficientai. Grafiko viršūnė žymi maksimalią koreliacijos koeficiento vertę.



Išmatuotas kampas 25.3246° ; $\rho = 0.9922$



Išmatuotas kampas -40.0822° ; $\rho = 0.9923$

8.2.2 pav. Koreliacijos koeficientų pasiskirstymo grafikai

8.3. Vaizdų atstatymo rezultatai sukant kamerą apie Y ašį

Kaip tyrimo objektas buvo pasirinkta spausdinto montažo plokštė, pritvirtinta prie sienos. Vaizdo kamera, kuria registruojama plokštė, sukama apie Y ašį kas 5° iki 45° . Kamerai esant normalioje būsenoje, tai kai jos posvyrio (nuolydžio) kampas Žemės atžvilgiu lygus 0° , išmatuojamas atstumas iki objekto. Kamerą pasukus 5° , atitinkamai pakeliama spausdinto montažo plokštė taip, kad būtų kameros apimamo vaizdo centre. Tada vėl išmatuojamas atstumas iki objekto.

Tad šioje tiriamojo darbo dalyje, apžvelgsime vaizdų perspektyvos iškraipymams atstatyti taikytų metodų tyrimo rezultatus. Tyrimo rezultatų apžvalga išskirstyta į dvi dalis. Pirmoje dalyje pateikti tyrimo rezultatai taikant matematinį modelį, o antroje dalyje – rankiniu būdu nustatant objekto keturis kampus gauti tyrimo rezultatai.

8.3.1. Tyrimo rezultatų, gautų taikant matematinį modelį, apžvalga

Pagal gautą nuolydžio kampą ir atstumą nuo kameros iki objekto, taikant matematinį modelį, kuris aprašytas 7.2.1 skyriuje, atliekamas vaizdo koregavimas.

Pagal sudarytą matematinį modelį, buvo gauti ne itin geri vaizdo atstatymo rezultatai, jie pateikti 8.3.1.1 lentelėje. Kuo didesnis kameros nuolydžio kampas, tuo mažesnis koreliacijos koeficientas.

Tyrimo rezultatai, sukant vaizdo kamerą apie Y ašį (pagal sudarytą matematinį modelį)

| P.k. | Išmatuotas kampas | ρ | L, cm |
|------|-------------------|--------|---------|
| 5 | 4.4574 | 0.9161 | 61.0847 |
| 10 | 9.7020 | 0.7136 | 61.7836 |
| 15 | 15.3363 | 0.6338 | 63.1487 |
| 20 | 20.3614 | 0.6028 | 64.9588 |
| 25 | 25.5820 | 0.5416 | 67.5190 |
| 30 | 30.0934 | 0.5213 | 70.3876 |
| 35 | 34.9658 | 0.5212 | 74.3141 |
| 40 | 40.4387 | 0.5044 | 80.0157 |
| 45 | 45.0505 | 0.5158 | 86.2016 |

Čia P.k – pasirinktas nuolydžio kampas, ρ – koreliacijos koeficientas, L kameros atstumas nuo objekto.

Kad sudarytas matematinis modelis būtų efektyvus, duotų gerus vaizdų atstatymo rezultatus, atliekamas duomenų optimizavimas. Optimizuojami tokie parametrai: atstumas tarp kameros ir objekto, kameros nuolydžio kampas, objekto aukštis, X ir Y koordinatų vaizdo jutiklyje nulinespadėtys. Parametrų kitimo ribos nurodytos 8.3.1.2 lentelėje.

Optimizuojamų parametrų kitimo ribos

| | Hr, cm | L, cm | a, ° | X ₀ | Y ₀ |
|-----|--------|-------|---------|----------------|----------------|
| Nuo | 10 | 60 | a · 0.9 | -10 | -10 |
| Iki | 13 | 86 | a · 1.1 | 10 | 10 |

Pasirinkus optimizuojamų parametrų ribas, pirmu atveju atliekamas optimizavimas naudojant pasirinktinus nuolydžio kampus nuo 5° iki 45°; gauti tyrimo duomenys pateikti 8.3.1.3 lentelėje. Antruoju atveju optimizavimas atliekamas naudojant posvyrio matuokliu išmatuotus nuolydžio kampus, šio tyrimo rezultatai pateikti 8.3.1.4 lentelėje.

Rezultatai po duomenų optimizavimo, naudojant pasirinktus nuolydžio kampus

| Kampai | ρ | Hr, cm | L, cm | a, ° | X ₀ | Y ₀ |
|--------|---------|--------|--------|--------|----------------|----------------|
| 5 | 0.5473 | 11.927 | 60.895 | 4.5015 | 1.6151 | 0.72523 |
| 10 | 0.93043 | 11.959 | 60.889 | 9 | 0.67135 | 2.9617 |
| 15 | 0.94257 | 12.019 | 60.895 | 13.5 | -0.15144 | 2.1453 |
| 20 | 0.6127 | 10 | 61.171 | 18 | 4.2371 | -0.16691 |
| 25 | 0.92489 | 12.063 | 60.868 | 23.649 | 3.1305 | 4.868 |
| 30 | 0.93211 | 12.014 | 60.878 | 28.113 | 1.9517 | 6.3759 |
| 35 | 0.40863 | 11.97 | 60.886 | 37.32 | 10 | 0.18417 |
| 40 | 0.8652 | 11.888 | 60.904 | 38.82 | 2.8721 | 4.9614 |
| 45 | 0.41832 | 10 | 61.288 | 46.995 | -1.0315 | 1.8935 |

Rezultatai po duomenų optimizavimo, naudojant posvyrio matuokliu išmatuotus vaizdo kameros nuolydžio kampus

| Kampai | ρ | Hr, cm | L, cm | a, ° | X ₀ | Y ₀ |
|---------|--------|---------|---------|---------|----------------|----------------|
| 4.4574 | 0.9590 | 12.4579 | 60.7910 | 4.0117 | 1.4647 | 5.6324 |
| 9.7020 | 0.9445 | 11.9781 | 60.8848 | 8.7318 | 0.6711 | 2.9971 |
| 15.3363 | 0.9341 | 11.9193 | 60.8964 | 13.8027 | -0.1469 | 2.0869 |
| 20.3614 | 0.5951 | 10.0000 | 61.3515 | 18.3253 | 4.5810 | -0.4672 |
| 25.5820 | 0.9249 | 12.1574 | 60.8498 | 23.6491 | 3.1303 | 4.8580 |
| 30.0934 | 0.9321 | 12.0727 | 60.8665 | 28.1118 | 1.9526 | 6.3696 |
| 34.9658 | 0.4481 | 13.0000 | 60.6796 | 38.4624 | 10.0000 | 2.2249 |
| 40.4387 | 0.8650 | 12.1596 | 60.8494 | 38.8123 | 2.8713 | 4.9388 |
| 45.0505 | 0.4183 | 10.0000 | 61.2664 | 46.9895 | -1.0291 | 1.8997 |

Atsižvelgus į 8.3.1.3 ir 8.3.1.4 lentelėse pateiktus duomenis, labiausiai išsiskiria tuo, kad naudojant išmatuotus nuolydžio kampus, gaunamas geresnis koreliacijos koeficientas ties 5° kampu, o apie kitus duomenis galima teigti, kad jie yra panašūs.

8.3.2. Tyrimo rezultatų, gautų atstatant vaizdus pagal keturis objekto kampus, apžvalga

Taikant 7.2.2 skyriuje aprašytą metodą, kuris remiasi tuo, kad vaizde esančio objekto perspektyvos iškraipymui atstatyti nėra reikalingi nei kameros nuolydžio kampai, nei atstumas nuo kameros iki objekto. Metodo efektyvumas, atstatant perspektyvos iškraipymą, paremtas keturių stačiakampio objekto, esančio vaizde, kampų parinkimo tikslumu. Kitaip sakant, kuo tiksliau pasirinktume stačiakampio objekto kampus, tuo geresni bus tyrimo rezultatai. Tyrimo metu gauti rezultatai pateikti 8.3.2.1 lentelėje.

8.3.2.1 lentelė

Rankiniu būdu nustatant objekto kampus, gauti tyrimo rezultatai

| P.k. | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Iš.k. | 4.4574 | 9.7020 | 15.3363 | 20.3614 | 25.5820 | 30.0943 | 34.9658 | 40.4387 | 45.0505 |
| ρ | 0.9638 | 0.9616 | 0.9365 | 0.9346 | 0.9378 | 0.9439 | 0.9403 | 0.9013 | 0.9174 |

čia: P.k. – pasirinktas kampas, Iš.k. – išmatuotas posvyrio matuokliu kameros nuolydžio kampas, ρ - koreliacijos koeficientas.

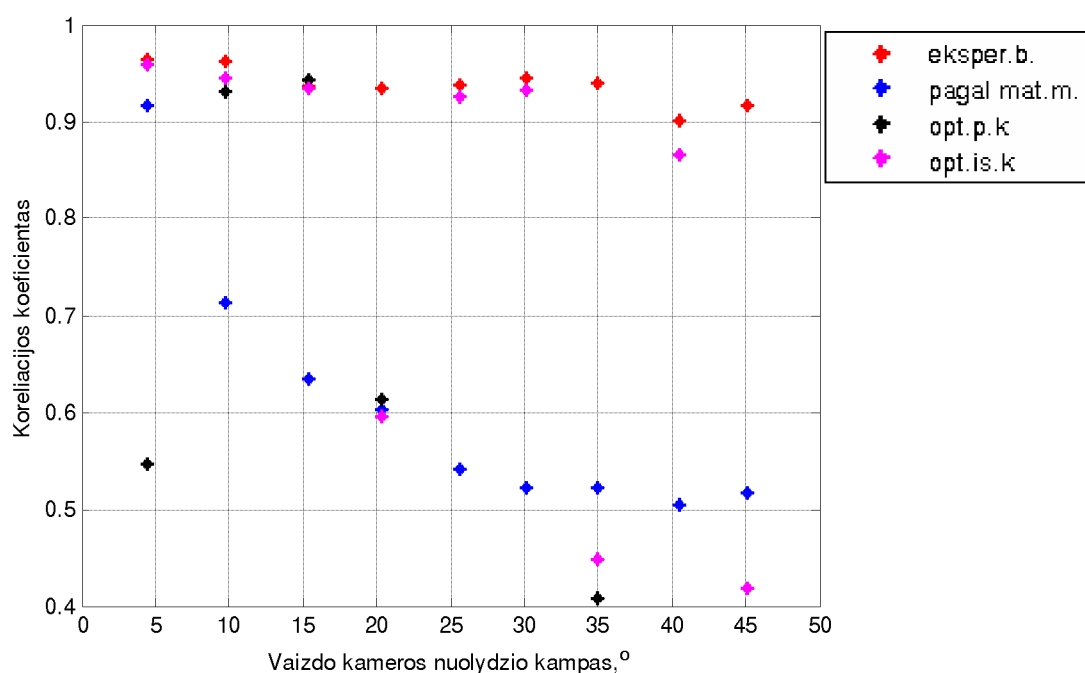
Atsižvelgiant į tai, kad stačiakampio objekto kampai parenkami rankiniu būdu, gauti gana geri vaizdų atstatymo rezultatai. Apie jų gerumą galima spęsti iš koreliacijos koeficiento reikšmių, kurios žymiai geresnės negu prieš tai aptarto metodo tyrimo rezultatai. Įdomumo dėlei, 8.3.2.2 lentelėje pateikiame tiriamajame darbe taikytų metodų tyrimo rezultatų koreliacijos koeficientus.

Koreliacijos koeficientų pasiskirstymas

| P.k. | Išmatuotas kampas | ρ | $\rho, m.m$ | $\rho, opt.pk.$ | $\rho, opt.iš.k$ |
|------|-------------------|--------|-------------|-----------------|------------------|
| 5 | 4.4574 | 0.9638 | 0.9161 | 0.5473 | 0.9590 |
| 10 | 9.7020 | 0.9616 | 0.7136 | 0.93043 | 0.9445 |
| 15 | 15.3363 | 0.9365 | 0.6338 | 0.94257 | 0.9341 |
| 20 | 20.3614 | 0.9346 | 0.6028 | 0.6127 | 0.5951 |
| 25 | 25.5820 | 0.9378 | 0.5416 | 0.92489 | 0.9249 |
| 30 | 30.0934 | 0.9439 | 0.5213 | 0.93211 | 0.9321 |
| 35 | 34.9658 | 0.9403 | 0.5212 | 0.40863 | 0.4481 |
| 40 | 40.4387 | 0.9013 | 0.5044 | 0.8652 | 0.8650 |
| 45 | 45.0505 | 0.9174 | 0.5158 | 0.41832 | 0.4183 |

čia: ρ – koreliacijos koeficientas, gautas rankiniu būdu nustatant keturis objekto kampus,
 $\rho, m.m$ – koreliacijos koeficientas, gautas taikant matematinį modelį,
 $\rho, opt.pk.$ – koreliacijos koeficientas, gautas optimizavimo būdu, naudojant pasirinktus kampus,
 $\rho, opt.iš.k$ – koreliacijos koeficientas, gautas optimizavimo būdu, naudojant išmatuotus posvyrio matuokliu vaizdo kameros nuolydžio kampus,

Tam, kad būtų aiškiau, tyrimų duomenis pateiksime grafiniu pavidalu, 8.3.2.1pav.



8.3.2.1pav. Koreliacijos koeficientų pasiskirstymas

8.4. Išvados

Posvyrio matuoklis, kuriame panaudotas trijų ašių akcelerometras, geras tuo, kad jį sukant apie X arba Y ašį prieš laikrodžio rodyklę, jo posvyrio kampas yra neigiamas, su „minuso“ ženklu, o sukant pagal laikrodžio rodyklę yra teigiamas. Kai įtaisas apverčiamas dugnu aukštyn, jo Z ašies posvyrio kampas yra neigiamas, o tai reiškia, kad įtaisas yra apverstas aukštyn dugnu. Jeigu reikia,

pagal atskirų ašių posvyrio kampus ir jų ženklus, galima nustatyti kokiame kvadrante yra įtaisas. Tai privalumas kurio neturi dviejų ašių akcelerometrai.

Tyrimai parodė, kad paprastesnių vaizdų, kuriuose dominuoja tiesios linijos atstatymui galima taikyti „radon“ funkciją. Bet geriau, taikyti žymiai universalesnį būdą, kuomet kameros krypavimo kampas išmatuojamas sukonstruotu posvyrio matuokliu ir taikant vaizdų transformaciją, atstatyti vaizdus.

Pasirodė, kad rankiniu būdu nustatant stačiakampio objekto kampus, perspektyvos iškreipimai yra geriau atstatomi negu taikant sudarytą matematinį modelį, kuriam reikalingas kameros nuolydžio kampas ir atstumas nuo kameros iki objekto.

9. PROGRAMINĖS ĮRANGOS ALGORITMŲ STRUKTŪRA

9.1. Programinė įranga mikrovaldikliui

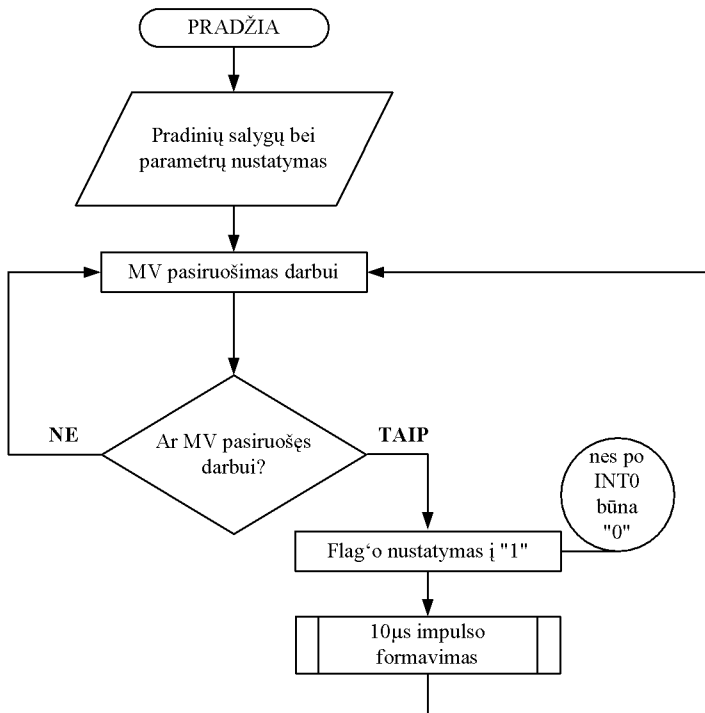
Programinė įranga mikrovaldikliui ATmega32L parašyta „C“ kalba, naudojant „IAR Embedded Workbench for AVR“ programą. Programinė įranga kompiuteriui parašyta naudojant „Borland C++ Builder 6“ programą.

Įtaiso veikimo algoritmas sudarytas iš trijų pagrindinių sudedamųjų dalių:

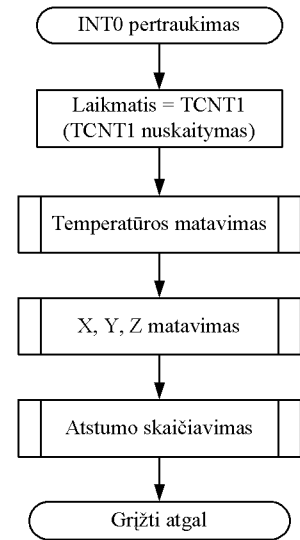
1. Pradžia, pagrindinis programos algoritmas (9.1.1 pav.)
2. INT0 pertraukties algoritmas (9.1.2 pav.)
3. USART pertraukties algoritmas (9.1.3 pav.)

Pradinėse sąlygose apsirąšomos visos konstantos ir kintamieji (9.1.1 pav.). Po to vyksta MV pasiruošimas darbui. Kai MV pasiruošęs darbui, jis išsiunčia 10 mikrosekundžių trukmės impulsą į SRF04 ultragarsinį nuotolio jutiklį (9.1.4 pav.). Jutiklis išsiunčia aštuonis 40kHz dažnio garso impulsus, TCNT1 laikmatis/skaitiklis (angl. Timer/Counter), kuris yra 16 bitų, nustatomas į "0" padėtį. Tada jis gali suskaičiuoti laiką, per kurį garso banga nusklido iki objekto ir sugrįžo atgal į jutiklį. Po to įvyksta pertrauktis INT0 (9.1.2 pav.). Įvykus INT0 pertraukčiai, nuskaitoma TCNT1 laikmačio/skaitiklio vertė. Panaudojant analoginį-skaitmeninį keitiklį (angl. ADC), išmatuojamas įtampos kritimas ant termorezistoriaus TR1 (NTC10) (9.1.6 pav.). MV ATmega32L išskaičiuoja oro temperatūrą ir pagal ją skaičiuoja atstumą iki objekto (9.1.7 pav.). Pasibaigus INT0 pertraukčiai, seka UART pertrauktis (9.1.4 pav.), kurios metu duomenys: temperatūra, atstumas ir iš akcelerometro MMA7260Q gautos X, Y, Z ašių išėjimo įtampos, yra patalpinami į buferį ir paruošiami siuntimui į kompiuterį per USB-to-UART tiltą. Buferyje duomenys suskirstyti taip, kaip parodyta 9.1.8 pav. Esant tai pačiai UART pertraukčiai yra vykdomas įtaiso valdymas iš kompiuterio, vykdoma „Laukimo“ paprogramė (9.1.5).

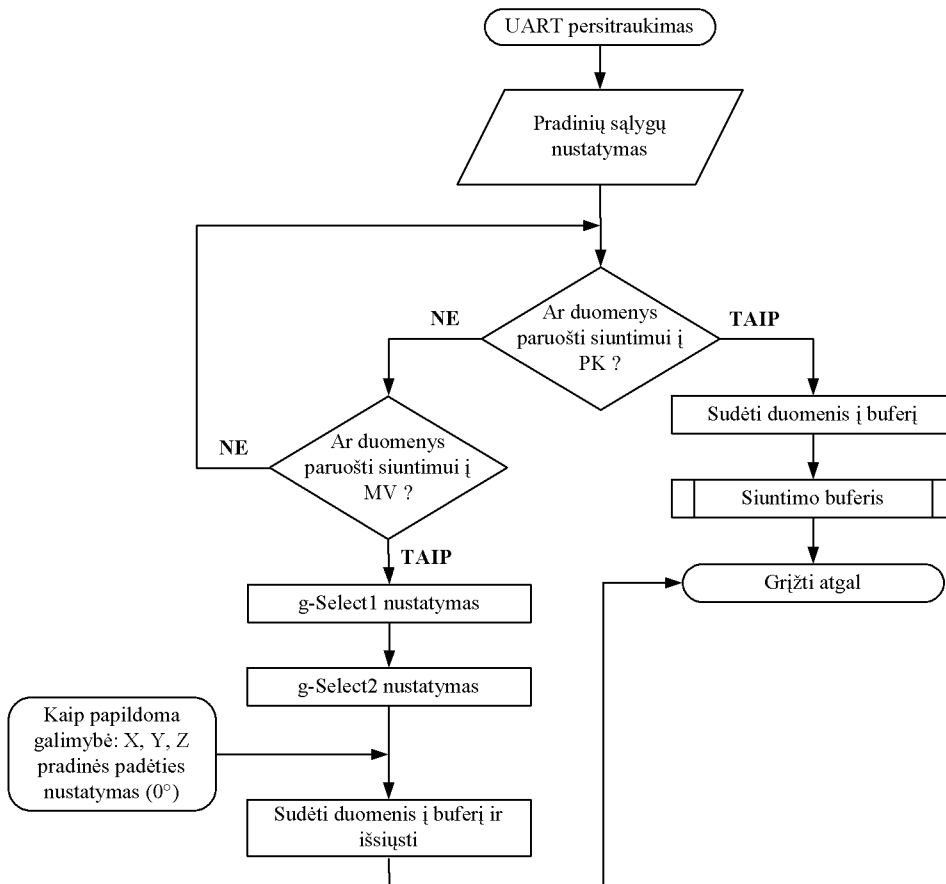
MV programos algoritmai



9.1.1 pav. Pagrindinis programos algoritmas

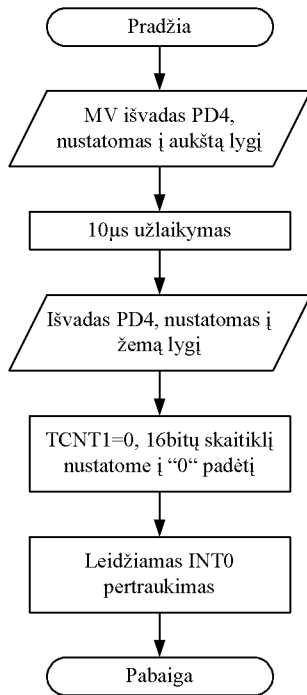


9.1.2 pav. INT0 pertraukties algoritmas

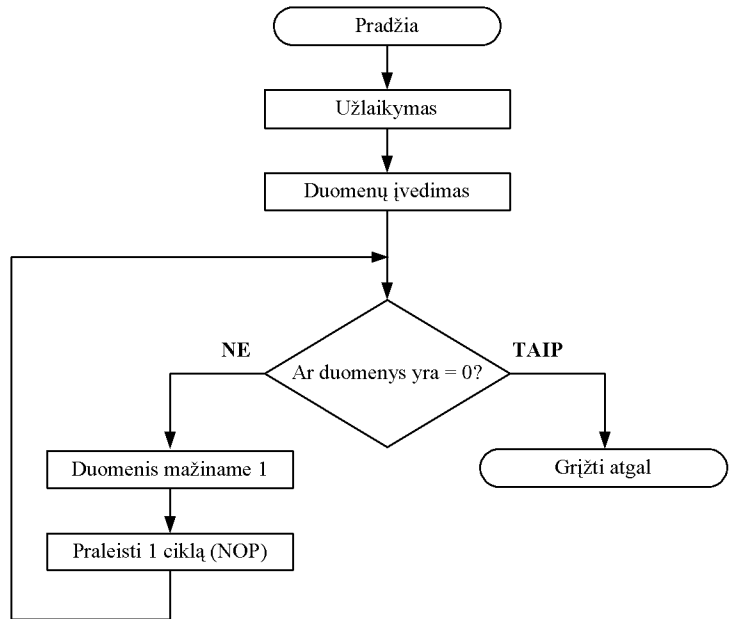


9.1.3 pav. USART pertraukties algoritmas

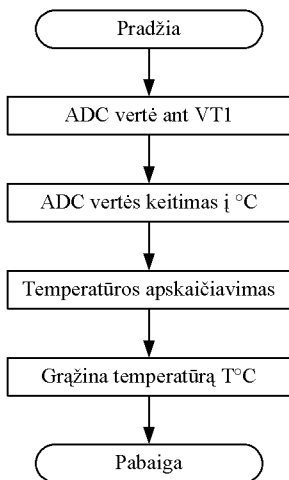
Paprogramės



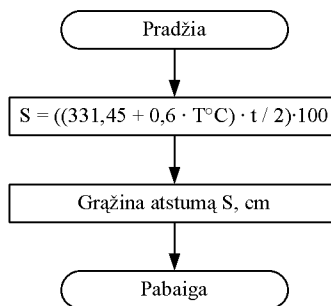
9.1.4 pav. 10µs impulso formavimas



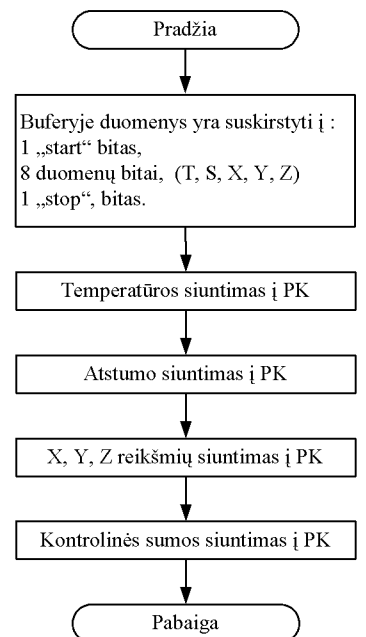
9.1.5 pav. Laukimas



9.1.6 pav. Temperatūros skaičiavimas



9.1.7 pav. Atstumo skaičiavimas



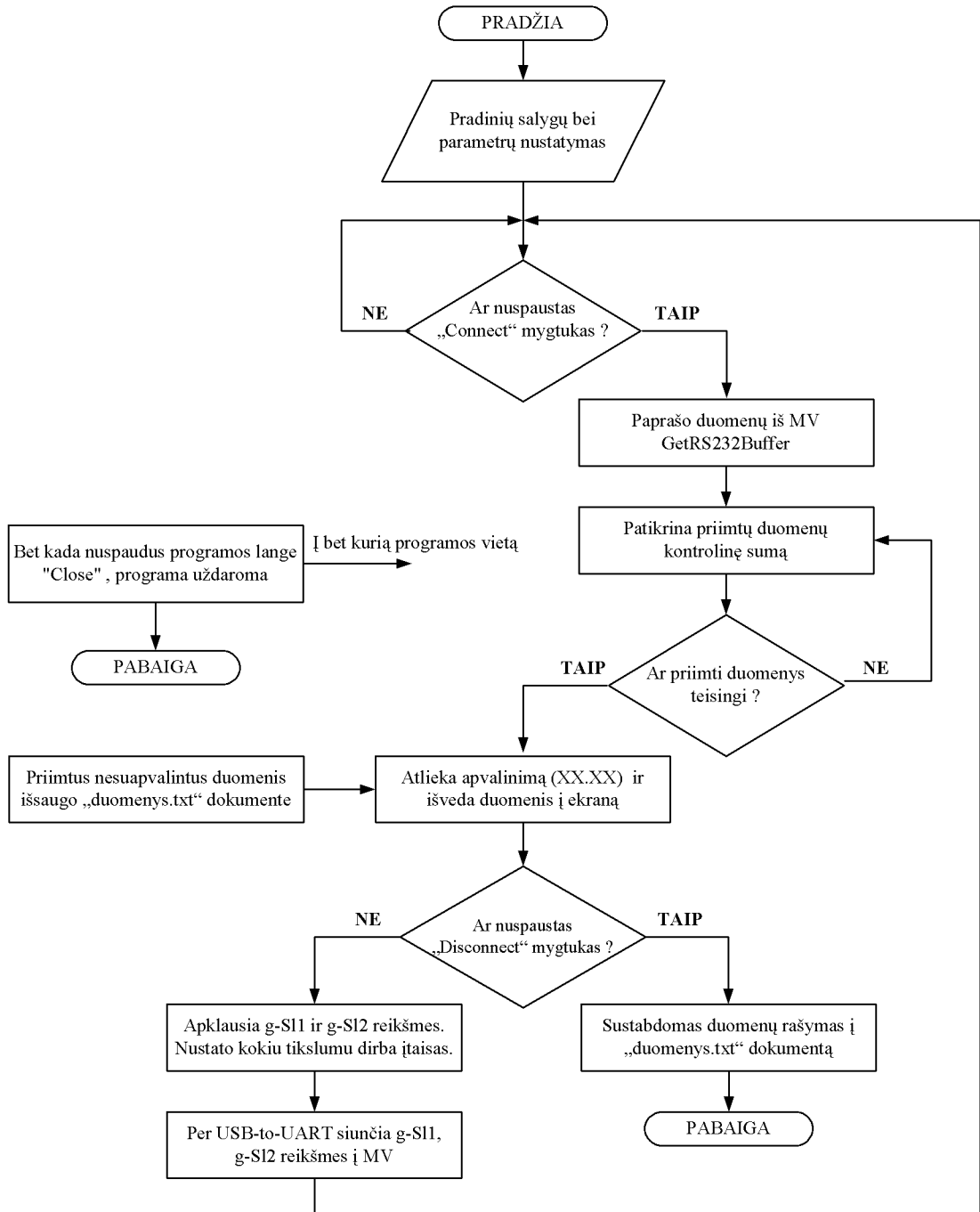
9.1.8 pav. Siuntimo buferis

9.2. Programinė įranga kompiuteriui

Tam, kad įtaisas veiktų, reikia įdiegti tvarkyklę. Po tvarkyklės įdiegimo įtaisa reikia prijungti prie kompiuterio per USB sąsają. Prijungus pirmą kartą įtaisa, USB centrinis valdiklis atlieka enumeraciją. Enumeracija yra procesas, kurio metu USB įrenginys yra prijungiamas prie sistemos ir jam yra priskiriamas specifinis skaitmeninis adresas, kuris bus naudojamas konkrečiam įrenginiui. Tai taip pat yra laikas, per kurį USB centrinis valdiklis užklausia įtaisa ir nustato kokių tvarkyklių reikės, kad sėkmingai prijungti įtaisa prie kompiuterio. Tada reikia nurodyti įrenginio tvarkyklės failus.

Įdiegus tvarkyklę, prijungus įtaisa prie kompiuterio ir nustačius tvarkyklės failus, galima aktyvuoti kompiuterinę programą. Ją aktyvavus, reikia pasirinkti COMx prievadą ir nuspausti „Connect“ mygtuką, tada nustatomi pradiniai parametrai: 1) duomenų persiuntimo sparta (RS232Baud(38400)), 2) duomenų bitai (RS232DataBits(8)), 3) lyginumo bitas – nenustatomas duomenų palyginimas (RS232Parity(0)), 4) stop bitai – nurodo priimamų duomenų pabaigą (RS232StopBits(1)).

Kuomet įrenginys yra prijungtas, kompiuteris užklausia duomenų iš USB-to-UART protokolų keitiklio, o šis savo ruožtu užklausia MV ATmega32L. Priėmus duomenis atliekamas jų patikrinimas. Jeigu priimti duomenys neteisingi, paprašo pakartoti duomenų siuntimą. Jei priimti duomenys yra teisingi, seka tolimesnis jų apdorojimas. Įtaiso registruojamas pagreitis, posvyrio kampas, atstumas, temperatūra yra saugomi „duomenys.txt“ dokumente. Duomenų rašymas į failą užbaigiamas, aktyvavus „Disconnect“ mygtuką arba uždarius programos langą. Kompiuterio programos algoritmas pateiktas 9.2.1 pav.



9.2.1 pav. Įtaiso kompiuterio programinės įrangos algoritmas

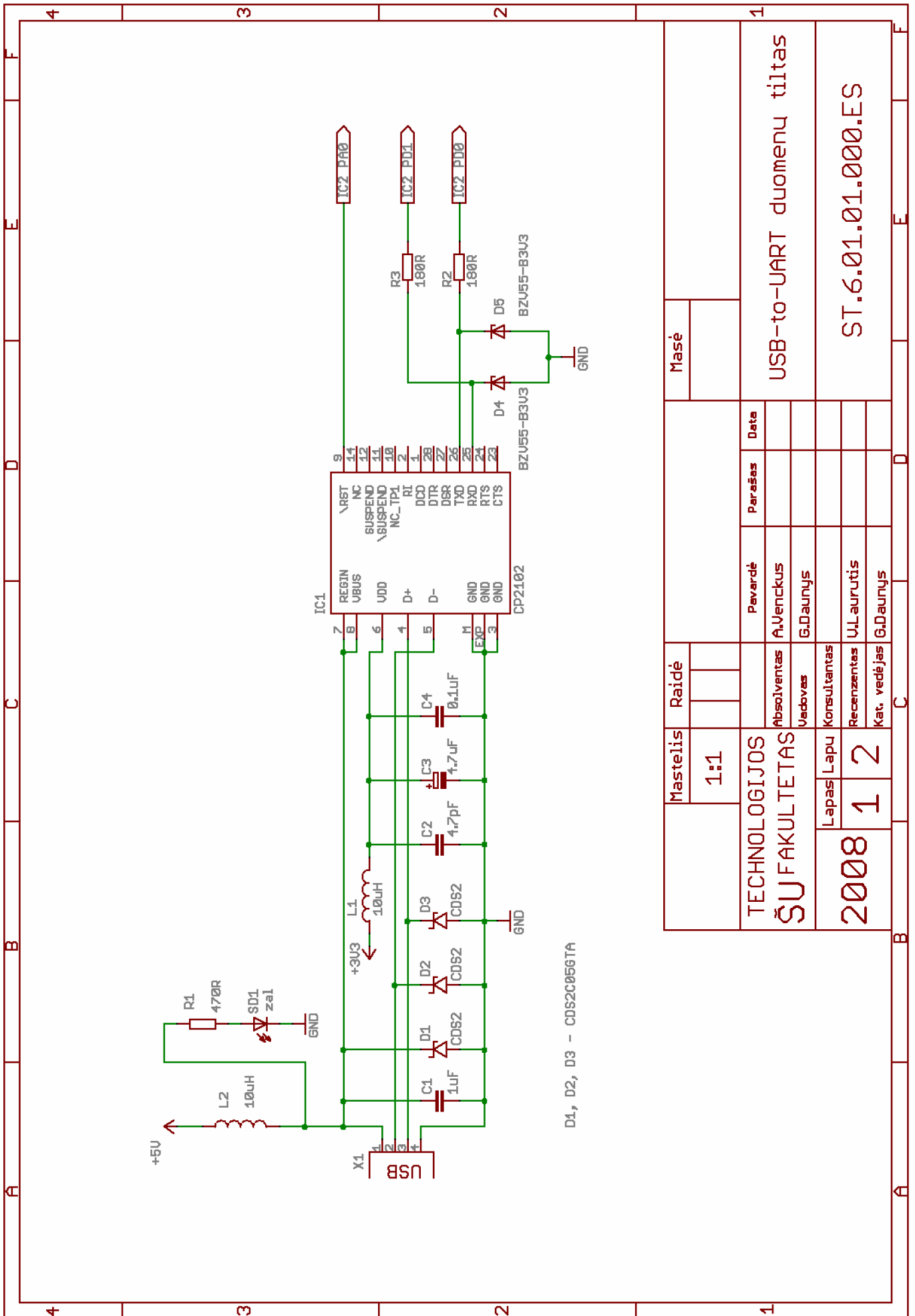
IŠVADOS IR SIŪLYMAI

- ✓ Susipažinta su priemonėmis, kurios naudojamos iškreiptų vaizdų atstatymui.
- ✓ Suprojektuotas ir sukonstruotas vaizdo kameros posvyrio kampų ir atstumo iki registruojamo objekto matuoklis. Posvyrio kampų matavimui panaudotas trijų ašių, mažo g (kur g – laisvo kritimo pagreitis, 9.8m/s^2) akcelerometras, o atstumui matuoti – ultragarsinis atstumo jutiklis. Įtaiso posvyrio kampų matavimo neapibrėžtis siekia $\sim \pm 1^\circ \div 2^\circ$. Trijų ašių akcelerometrą, kuriuo matuojami vaizdo kameros posvyrio kampai, reikėtų pakeisti giroskopu. Tuomet būtų įmanoma išmatuoti vaizdo kameros sukimąsi apie Z ašį, kai tuo tarpu akcelerometru galima matuoti sukimąsi apie X ir Y ašį, bei pokrypio kampą nuo Z ašies.
- ✓ Atstatant iškreiptus vaizdus, kai vaizdo kamera sukasi apie savo X ašį, paskaičiavus koreliacijos koeficientą, gauti pakankamai geri rezultatai. Net prie didžiausio vaizdo kameros krypavimo kampo (45°), koreliacijos koeficientas siekia 0.9900. Tai pakankamai didelė reikšmė, kuri nežymiai sumažėjo nuo mažiausio (5°) krypavimo kampo, prie kurio koreliacijos koeficientas siekia 0.9947.
- ✓ Atstatytų vaizdų palyginimui su originaliu vaizdu, turi įtakos tapdinimo ribos, jos negali būti pernelyg didelės, kad neišeitų iš pasukto vaizdo ribų. Iškerpamam stačiakampiui parinkta ± 20 pikselių paklaida.
- ✓ Pagal sudarytą matematinę modelį, įgyvendintas perspektyvos iškraipymų atstatymas, kamerei pasisukus apie Y ašį. Kaip gerai sudarytas modelis atstato iškreiptus vaizdus, parodo koreliacijos koeficientas. Didėjant vaizdo kameros nuolydžio kampui, koreliacijos koeficientas mažėja, nes sudėtingėja vaizdo iškraipymai. Optimizavus vaizdo atstatymui naudojamus duomenis, koreliacijos koeficientų reikšmės padidėjo, o tai reiškia – pagerėjo iškreipto vaizdo atstatymas. Koreliacijos koeficientas, prie 40° vaizdo kameros nuolydžio kampo, lygus 0.8650.
- ✓ Atlikus tyrimą, kuomet vaizdų atstatymui naudojami rankiniu būdu parinkti keturi objekto kampai, prie didžiausio vaizdo kameros nuolydžio kampo (45°), koreliacijos koeficientas lygus 0.917. Bet šis metodas, lyginant su sudarytu matematiniumi modeliu, kuris tinka įvairesnių formų iškreiptiems vaizdams atstatyti, labiau tinka paprastesnių plokščių vaizdų atstatymui.

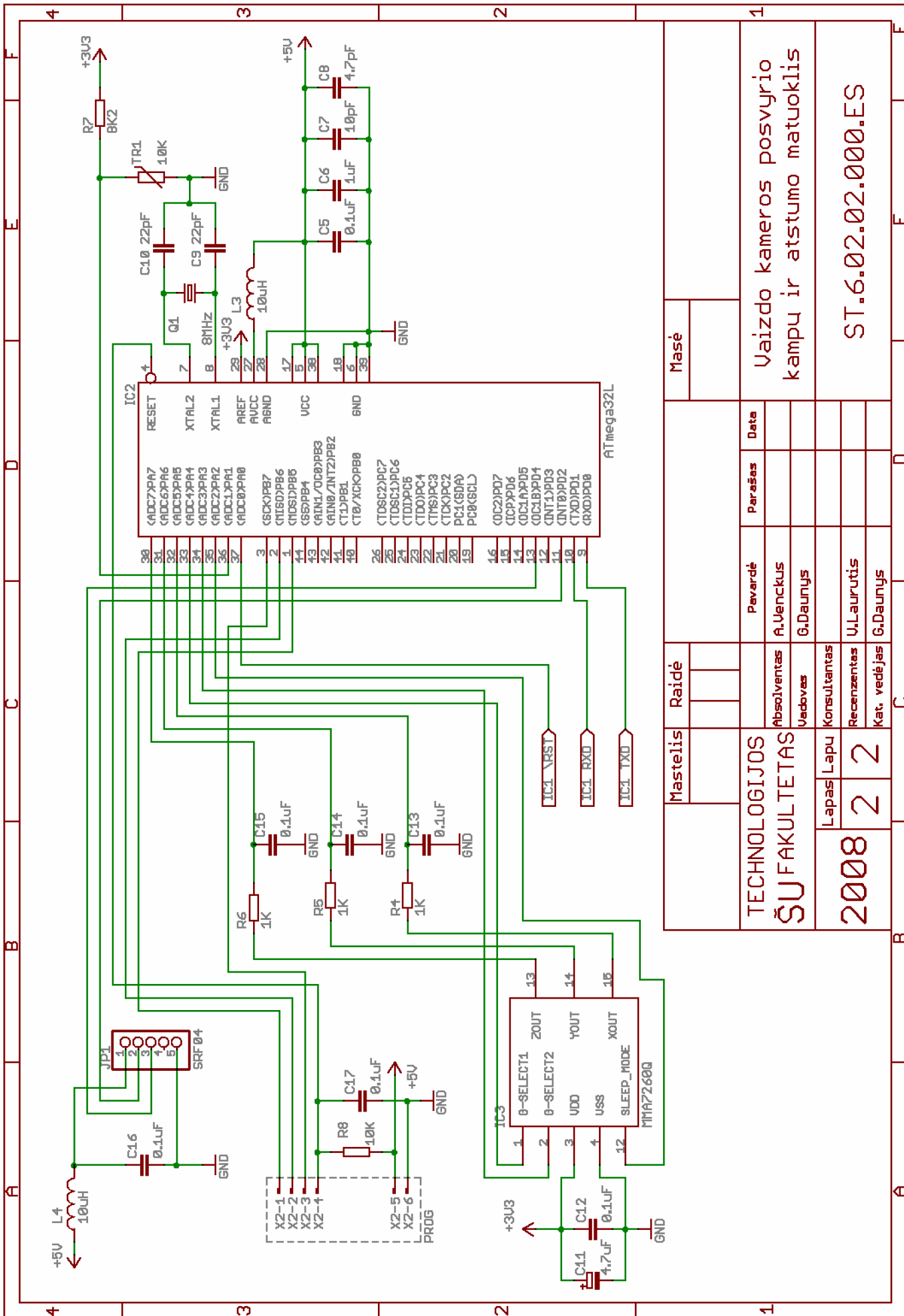
LITERATŪRA

1. Perspective Distortion Correction Tutorial. – [žiūrėta 2008-04-01]. Prieiga per internetą: <http://www.lonestardigital.com/perspective_correction.htm>.
2. Perspective correction lens. – [žiūrėta 2008-04-01]. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Perspective_correction_lens#column-one>.
3. Index locorum, perspective correction, deceptio visus. – [žiūrėta 2008-04-02]. Prieiga per internetą: <<http://www.f-stop.com/p-c.htm>>.
4. Perspective Control (Shift Lenses) in Architectural Photography, From an essay written by Richard McCann, Edited and webified by Bob Manekshaw. – [žiūrėta 2008-04-02]. Prieiga per internetą: <<http://www.photostuff.co.uk/shftlns.htm>>.
5. Schneider OPTICS, PC-SUPER-ANGULON 28 mm f/2.8. – [žiūrėta 2008-04-04]. Prieiga per internetą: <http://www.schneiderkreuznach.com/pdf/foto/pc_super_angulon_2,8_28_e.pdf>.
6. Matlab Image Processing Toolbox User's Guide. Edge detection methods.
7. Perspective Transform Estimation. – [žiūrėta 2008-03-14]. Prieiga per internetą: <<http://alumni.media.mit.edu/~cwren/interpolator/>>.
8. Geometric and photometric correction of projected rectangular pictures. Xiang Wang, Reinhard Klette and Bodo Rosenhahn. CITR, Department of Computer Science, The University of Auckland, New Zealand. – [žiūrėta 2008-03-14]. Prieiga per internetą: <<http://www.mpi-inf.mpg.de/~rosenhahn/publications/CITR-TR-167.pdf>>.
9. Rectification of perspective distortion using camera parameters – a perspective geometry based approach. Mohan S., Avinash N. And Murali S., P.E.T Research Centre, PES College of Engg, Mandya, Karnataka, India. – [žiūrėta 2008-03-14]. Prieiga per internetą: <<http://www.icgst.com/gvip/Volume8/Issue1/P1150721004.pdf>>.
10. Digital image processing using matlab. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins. Prentice Hall 2004. p. 182-193. ISBN 0130085197.
11. Image processing learning resources. Robert Fisher, Simon Perkins, Ashley Walker, Erik Wolfart, 2004. Image processing operator worksheets, Geometric operations. – [žiūrėta 2008-02-23]. Prieiga per internetą: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/translte.htm>>.
12. How does an Accelerometer Work? – [žiūrėta 2007-11-05]. Prieiga per internetą: <<http://ezinearticles.com/?How-does-an-Accelerometer-Work?&id=285604>>.
13. Inclination sensing of digital projector for correction of image distortion and inversion. – [žiūrėta 2007-11-04]. Prieiga per internetą: <<http://www.memsic.com/data/pdfs/an-00mx-015.pdf>>.

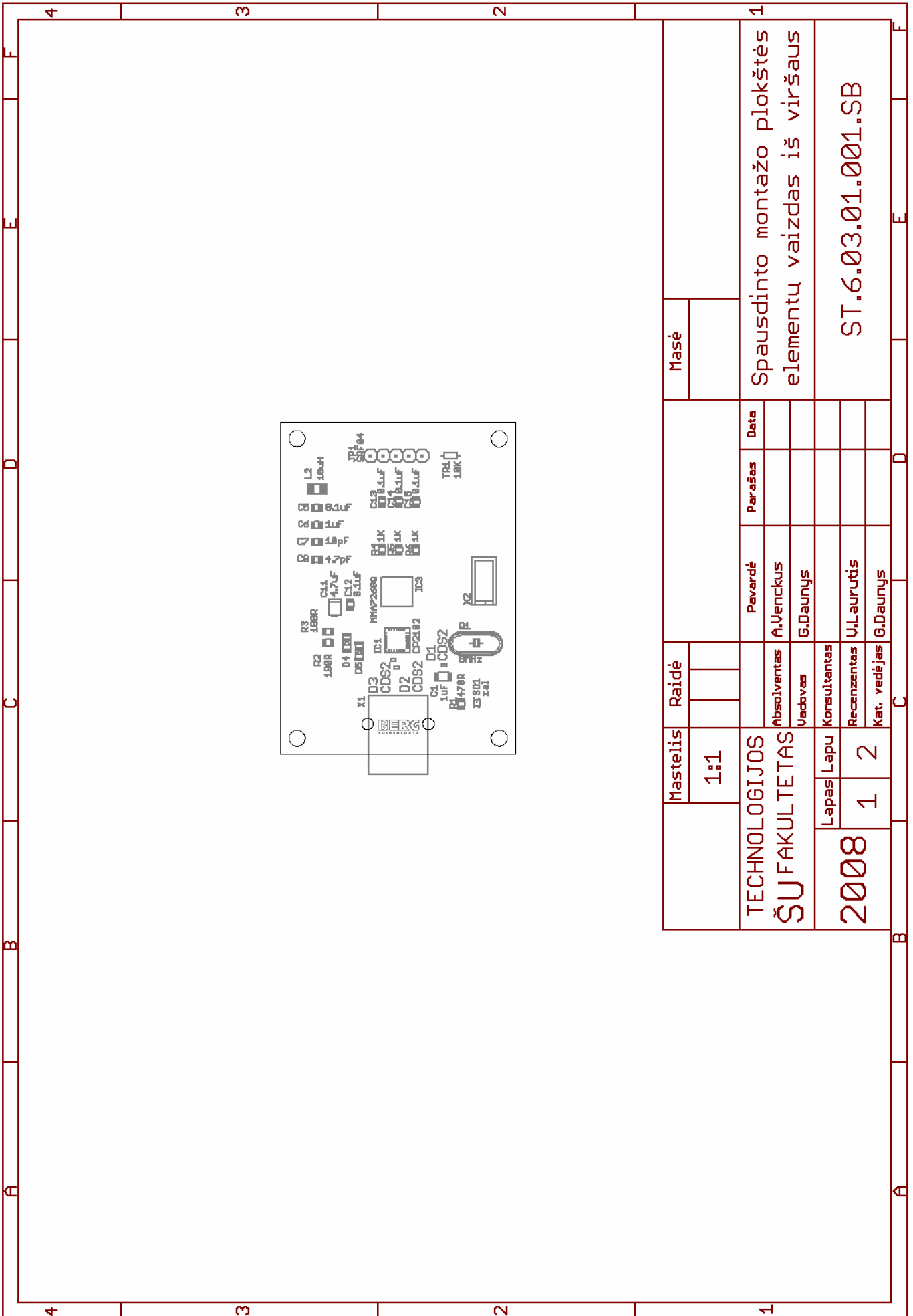
14. Tilt sensing using linear accelerometers. – [žiūrėta 2007-11-04]. Prieiga per internetą: <http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3461.pdf>.
15. Implementing auto-zero calibration technique for accelerometers. [žiūrėta 2007-11-04]. Prieiga per internetą: <http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3447.pdf>.
16. Tilt sensing using linear accelerometers. Kimberly Tuck, Accelerometer systems and applications engineering. Tempe, AZ. – [žiūrėta 2007-11-05]. Prieiga per internetą:
17. Bronius Bakšys, Algimantas Fedaravičius “Robotų technika” Kaunas, Technologija, 2004. 54psl. ISBN 9955-09-802-3.
18. Annotation of a view. Cyntia Duc Semptember, 2005. – [žiūrėta 2007-12-15]. Prieiga per internetą: <<http://www.mics.ch/SumIntF05/CyntiaDuc.pdf>>.
19. Devantech SRF04 Ultrasonic Range Finder. – [žiūrėta 2005-10-25]. Prieiga per internetą : <<http://info.hobbyengineering.com/specs/devantech-srf04-tech.pdf>>, <http://www.superdroidrobots.com/product_info/SRF04.htm>.
20. Measuring tilt with low-g accelerometers. Michelle Clifford and Leticia Gomez. Sensor Products, Tempe, AZ. – [žiūrėta 2007-11-04]. Prieiga per internetą: <http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3107.pdf>.
21. Rymantas Kažys, Neelektrinių dydžių matavimo metodai. Kaunas: Technologija, 1997m. 89p. ISBN 9986-13-569-X.
22. Image Processing Toolbox™ User’s Guide, 1993–2008 by The MathWorks, Inc., 17-82.



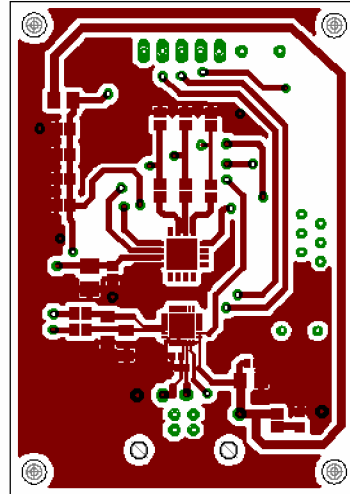
| | | | | | |
|----------------------------|--|--------------|--|-----------|--|
| Mastelis | | Raidė | | Masė | |
| 1:1 | | | | | |
| TECHNOLOGIJOS | | | | Pavardė | |
| ŠUFAKULTETAS | | | | A.Venckus | |
| 2008 | | | | G.Daunys | |
| Lapas | | Konsultantas | | Parašas | |
| 1 | | Recenzentas | | Date | |
| 2 | | Kat. vedėjas | | | |
| USB-to-UART duomenų tiltas | | | | | |
| ST.6.01.01.000.ES | | | | | |



| | | | | | |
|---------------|--|----------------------------------------------------|--|-------------------|--|
| Mastelis | | Raidė | | Masė | |
| TECHNOLOGIJOS | | Absolventas | | Pavardė | |
| ŠUFAKULTETAS | | Vedovas | | A.Venckus | |
| 2008 | | Konsultantas | | G.Daunys | |
| Lapas | | Recenzentas | | U.Laurutis | |
| 2 | | Kat. vedėjas | | G.Daunys | |
| 2 | | Vaizdo kameros posvyrio kampu ir atstumo matuoklis | | ST.6.02.02.000.ES | |



| | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------------|------|---------------------------------------------------------|--|--|
| Mastelis | Raidė | | | | Masė | | | |
| | 1:1 | | | | | Spausdinto montažo plokštės elementu vaizdas iš viršaus | | |
| TECHNOLOGIJOS ŠUFAKULTETAS | Absolventas | A.Venckus | | Parašas | | | | |
| | Vedovas | G.Daunys | | Date | | | | |
| 2008 | Lapas | Lapu | Konsultantas | | | | | |
| | 1 | 2 | Recenzentas | U.Lauritis | | | | |
| | | Kat. vedėjas | G.Daunys | ST.6.03.01.001.SB | | | | |



| | | | | | | | |
|---------------|--|--------------|--|------------|--|---------------------------------------------------|--|
| | | Masė | | | | 1 | |
| Mastelis | | Raidė | | | | Spausdinto montažo plokštės vaizdas iš viršaus | |
| 1:1 | | | | | | | |
| TECHNOLOGIJOS | | Pavardė | | Parašas | | Date | |
| ŠUFAKULTETAS | | A.Venckus | | | | | |
| 2008 | | Vedovas | | G.Daunys | | | |
| Lapas | | Konsultantas | | | | | |
| 2 | | Recenzentas | | U.Lauritis | | | |
| 2 | | Kat. vedėjas | | G.Daunys | | | |
| | | | | | | ST.6.04.01.001.MP | |

| | | | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mastelis</th> <th>Raidė</th> <th>Pavardė</th> <th>Parašas</th> <th>Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1:1</td> <td></td> <td>A.Venckus</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">TECHNOLOGIJOS</td> <td>Vedovas</td> <td>G.Daunys</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">ŠUFAKULTETAS</td> <td>Konsultantas</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">2008</td> <td>Recenzentas</td> <td>U.Lauritis</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Lapas 1</td> <td>Kat. vedėjas</td> <td>G.Daunys</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | Mastelis | Raidė | Pavardė | Parašas | Data | 1:1 | | A.Venckus | | | TECHNOLOGIJOS | | Vedovas | G.Daunys | | ŠUFAKULTETAS | | Konsultantas | | | 2008 | | Recenzentas | U.Lauritis | | Lapas 1 | | Kat. vedėjas | G.Daunys | | 2 | | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Masė</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Spausdinto montažo plokštės elementu vaizdas iš apačios</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">ST.6.05.02.001.SB</td> </tr> </tbody> </table> | | Masė | 1 | Spausdinto montažo plokštės elementu vaizdas iš apačios | | ST.6.05.02.001.SB | |
|------------------------------------------------------------|-------|--------------|------------|------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----------|-------|---------|---------|------|-----|--|-----------|--|--|---------------|--|---------|----------|--|--------------|--|--------------|--|--|------|--|-------------|------------|--|---------|--|--------------|----------|--|---|--|--|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------|---|------------------------------------------------------------|--|-------------------|--|
| Mastelis | Raidė | Pavardė | Parašas | Data | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1:1 | | A.Venckus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TECHNOLOGIJOS | | Vedovas | G.Daunys | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ŠUFAKULTETAS | | Konsultantas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2008 | | Recenzentas | U.Lauritis | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lapas 1 | | Kat. vedėjas | G.Daunys | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masė | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Spausdinto montažo plokštės elementu vaizdas iš apačios | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ST.6.05.02.001.SB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 3 | 2 | 1 | A | B | C | D | E | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 3 | 2 | 1 | A | B | C | D | E | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Format. | Zona | Pozicija | Žymėjimas | Pavadinimas | Kiekis | Pastabos | |
|-------------------------------|------|----------|-------------------|-----------------------------------------------------|--------------|-------------|---------------------------------|
| | | | | | | | |
| | | | | <u>Dokumentacija</u> | | | |
| A4 | | | ST.6.01.01.000.ES | USB-to-UART tiltas | 1 | | |
| | | | | <u>Spausdintinė plokštė</u> | | | |
| | | | | Dvipusis stiklotekstolitas su fotorezistu, 47x66 mm | 1 | Bendra | |
| | | | | <u>Kondensatoriai</u> | | | |
| A4 | A2 | | C1 | 0805, 1μF 16V Y5V +80%-20% | 1 | | |
| A4 | B2 | | C2 | 0805, 4.7pF 50V NP0 ±0.25pF | 1 | | |
| A4 | C2 | | C3 | 3216, 4.7uF/6V | 1 | tantalinis | |
| A4 | C2 | | C4 | 0805, 0.1μF 50V Y5V +80%-20% | 1 | | |
| | | | | <u>Rezistoriai</u> | | | |
| A4 | B3 | | R1 | 0805 470R 5% | 1 | | |
| A4 | E2 | | R2, R3 | 0805 100R 5% | 2 | | |
| | | | | <u>Droseliai</u> | | | |
| A4 | B3 | | L1 | 10μH 1210 (606) | 1 | | |
| A4 | A3 | | L2 | 10μH 1210 (606) | 1 | | |
| | | | | <u>Šviesos diodai</u> | | | |
| A4 | B3 | | SD1 | 0805 oranžiniai-raudonas 42mcd 140° | 1 | | |
| | | | | <u>Lizdai</u> | | | |
| A4 | A2 | | X1 | USB-B | 1 | | |
| TECHNOLOGIJOS ŠUFAKULTETAS | | | | Pavardė | Parašas | Data | USB-to-UART tilto specifikacija |
| | | | Absolventas | A. Venckus | | | |
| 2008 | | | | Vadovas | | | ST.6.07.00.000 |
| | | | Lapas | Lapų | Konsultantas | | |
| 1 | | | 2 | | Recenzentas | V. Laurutis | |
| | | | | | Kat. vedėjas | G. Daunys | |

| Format. | Zona | Pozicija | Žymėjimas | Pavadinimas | Kiekis | Pastabos |
|-------------------------------|-------|----------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------|
| | | | | | | |
| | | | | <u>Dokumentacija</u> | | |
| A4 | | | ST.6.02.02.000.ES | Vaizdo kameros posvyrio kampų ir atstumo matuoklis | 1 | |
| | | | | <u>Kondensatoriai</u> | | |
| A4 | E3 | | C5 | 0805, 0.1μF 50V Y5V +80%-20% | 1 | |
| A4 | E3 | | C6 | 0805, 1μF 16V Y5V +80%-20% | 1 | |
| A4 | E3 | | C7 | 0805, 10pF 50V NP0 ±0.5pF | 1 | |
| A4 | E3 | | C9, C10 | 0805, 22pF 50V NP0 ±5% | 2 | |
| A4 | A2 | | C11 | 3216, 4.7uF/6V | 1 | tantalinis |
| A4 | A2 | | C12 | 0805, 0.1μF 50V Y5V +80%-20% | 1 | |
| A4 | B2 | | C13 | 0805, 0.1μF 50V Y5V +80%-20% | 1 | |
| A4 | B3 | | C14, C15 | 0805, 0.1μF 50V Y5V +80%-20% | 2 | |
| A4 | A3 | | C16 | 0805, 0.1μF 50V Y5V +80%-20% | 1 | |
| A4 | A3 | | C17 | 0805, 0.1μF 50V Y5V +80%-20% | 1 | |
| | | | | <u>Rezistoriai</u> | | |
| A4 | B2 | | R4 | 0805, 1K0 5% | 1 | |
| A4 | B3 | | R5, R6 | 0805, 1K0 5% | 2 | |
| A4 | E4 | | R7 | 0805, 8K2 5% | 1 | |
| A4 | A3 | | R8 | 0805, 10K 5% | 1 | |
| | | | | <u>Termorezistoriai</u> | | |
| A4 | E3 | | TR1 | NTC 10K 10% 450mW RM5.0mm | 1 | |
| | | | | <u>Droseliai</u> | | |
| A4 | E3 | | L3 | 10μH 1210 (606) | 1 | |
| A4 | A4 | | L4 | 10μH 1210 (606) | 1 | |
| TECHNOLOGIJOS ŠUFAKULTETAS | | | Pavardė | Parašas | Data | Vaizdo kameros posvyrio kampų ir atstumo matuoklio specifikacija |
| | | | Absolventas A. Venckus | | | |
| | | | Vadovas G. Daunys | | | ST.6.08.00.000 |
| | | | Konsultantas | | | |
| 2008 | | | Recenzentas V. Laurutis | | | |
| | | | Kat. vedėjas G. Daunys | | | |
| | Lapas | Lapų | | | | |
| | 1 | 2 | | | | |

| Format. | Zona | Pozicija | Žymėjimas | Pavadinimas | Kiekis | Pastabos |
|---------------|------|----------|-------------------------|------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------|
| | | | | <u>Kvarciniai rezonatoriai</u> | | |
| A4 | E3 | | Q1 | JYEG 8,000 MHz | 1 | |
| | | | | <u>Mikroschemos</u> | | |
| A4 | D3 | | IC2 | ATmega32L | 1 | |
| A4 | A2 | | IC3 | MMA7260Q | 1 | |
| | | | | <u>Jungtys</u> | | |
| A4 | B3 | | JP1/SRF04 | Socket connector, 2.54 pitch ; 5k. | 1 | SRF04 |
| A4 | A3 | | PROG | 6 pole MICRO-M female straight | 1 | |
| | | | | PCB | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| TECHNOLOGIJOS | | | Pavardė | Parašas | Data | Vaizdo kameros posvyrio kampų ir atstumo matuoklio specifikacija |
| ŠU FAKULTETAS | | | Absolventas A. Venckus | | | |
| | | | Vadovas G. Daunys | | | ST.6.08.01.000 |
| | | | Konsultantas | | | |
| 2008 | | Lapas 2 | Recenzentas V. Laurutis | | | |
| | | Lapų 2 | Kat. vedėjas G. Daunys | | | |

