



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Jonas Vičius**

**ATSTUMŲ MATAVIMO IŠ VAIZDO MEDŽIAGOS TIKSLUMO**  
**TYRIMAS**

Magistro projektas

**Vadovas**

Dr. Kęstas Rimkus

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**AUTOMATIKOS KATEDRA**

**ATSTUMŲ MATAVIMO IŠ VAIZDO MEDŽIAGOS TIKSLUMO**  
**TYRIMAS**

Magistro projektas  
Valdymo technologijos (kodas 621H66001)

**Vadovas**  
Dr. Kęstas Rimkus

**Recenzentas**  
Doc. dr. Vygandas Vaitkus

**Projektą atliko**  
Jonas Vičius

**KAUNAS, 2017**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Jonas Vičius

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos (kodas 621H66001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 17 m. 05 20 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Jono Vičiaus** baigiamasis projektas tema „ATSTUMŲ MATAVIMO IŠ VAIZDO MEDŽIAGOS TIKSLUMO TYRIMAS.“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Vičius, Jonas. Atstumų matavimo iš vaizdo medžiagos tikslumo tyrimas. Valdymo sistemų magistro baigiamasis projektas / vadovas Dr. Kęstas Rimkus; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Automatikos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *Atstumo matavimas, vaizdo medžiaga, stereoskopija, kamera*

Kaunas, 2017. 49 p.

## SANTRAUKA

Darbe analizuojamas atstumo matavimo tikslumas nuo vaizdo kameros iki objekto panaudojant vaizdo medžiagą, išnagrinėjami skirtingi atstumo matavimo būdai, atliekami naudojant vieną ir daugiau kamerų, keičiant kamerų pozicijas ir pasukimo kampus bei objekto realų dydį.

Darbo tikslas – ištirti atstumo matavimo iš vaizdo medžiagos tikslumą, apskaičiuoti paklaidas ir paaiškinti jų atsiradimo priežastis. Tyrime pasirinkti trys atstumo matavimo būdai, kurie skiriasi savo principu, taip bus įvertinama daugiau faktorių lemiančių matavimo tikslumą. Pirmas stereoskopinis – panaudojant dvi vaizdo kameras, atstumas iki objekto apskaičiuojamas panaudojant atstumą tarp kamerų, ir nagrinėjama kokią įtaką tai daro matavimo tikslumui ir paklaidoms. Antras matavimo būdas yra atstumo matavimas iki objekto, panaudojant realų objekto plotį. Lyginami matavimai, kai skiriasi vaizdo medžiagos – nuotraukų skiriamoji geba, atstumas iki objekto. Trečias matavimo būdas analizuojamas panaudojant kameros poziciją ir pasisukimo kampą, lyginama, kaip kameros pozicija ir pasisukimas veikia matavimo tikslumą.

Tyrimo išvadose išanalizuoti tyrimo matavimo būdai: tikslumas, paklaidos ir jų priežastys.

Vičius, Jonas. Research of Distance Measurement Accuracy Using Image Processing. Final project of Master's degree / supervisor Dr. Kęstas Rimkus. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of automation.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: *distance measure, image processing, stereoscopic, camera*

Kaunas, 2017. 49 p.

## SUMMARY

In this research the distance measurement accuracy using image processing is analyzed. The different methods of the distance measurement are investigated by using the different number, namely one or more, of cameras, changing the positions and the angles of movement of cameras, and the real size of the object.

The purpose of this research is to analyze the precision while using different ways of the measurement, to calculate the error ratios and to explain the reasons why they occurred. There are chosen three methods of the distance measurement. The first one is stereoscopic, which means that the distance to the object is measured by using the distance between two cameras, the previous distance is then analyzed in regard to the effect made to accuracy of the measurement and the error ratios. The second method of the measurement to object is chosen by using the real width of the object. By this method, the measurements are compared by analyzing the image processing – resolution and the distance to the object. Lastly, the third method of the measurement is investigated by using the position of the camera and its angles of the movement, and the comparison is made between the effects on the accuracy, which were made by the position and the angles of the camera.

In the conclusion the measurement methods, namely accuracies, error ratios and their causes are analyzed.

# Turinys

Įvadas .....	7
1. Literatūros analizė ir tyrimų atlikimo metodika .....	6
1.1 Kameros, fotoaparatai ir vaizdinė medžiaga .....	6
1.2 Atstumo matavimas iki objekto su stereoskopinėmis nuotraukomis .....	7
1.3 Atstumo matavimas iki objekto žinant realų objekto dydį. ....	11
1.4 Objekto atpažinimas.....	14
1.5 Nuotraukų iškraipymas ir kameros kalibravimas su „OpenCV“ .....	15
1.6 Atstumo matavimas iki objekto panaudojant kameros poziciją ir pasisukimo kampą. ....	17
2 Tyrimų rezultatai. ....	19
2.1 Atstumo apskaičiavimas kai žinomas objekto plotis .....	19
2.1.1 Apskaičiavimo principas ir naudojami duomenys .....	19
2.1.2 Programa .....	20
2.1.3 Rezultatai.....	22
2.2 Atstumo matavimas su dviem nuotraukomis .....	32
2.2.1 Apskaičiavimo principas .....	32
2.2.2 Programa .....	33
2.2.3 Rezultatai.....	35
2.3 Matavimas panaudojant kameros aukštį ir pasukimo kampą. ....	42
2.3.1 Matavimo rezultatai. ....	43
Išvados ir rezultatai .....	48
Literatūros sąrašas .....	49

## Ivadas

Atstumas – tai skaitmeninis aprašymas, kaip toli vienas nuo kito yra objektai. Fizikoje ar kasdieniniame naudojime tai yra ilgis. Paprastai tai yra atstumas nuo objekto A iki objekto B ir atvirkščiai. Metodai naudojami išmatuoti atstumą iki objektų gali būti skirstomi į aktyvius ir pasyvius. Aktyvūs metodai, kai siunčiami signalai iki objektų, pavyzdžiui lazerio spindulys, radijo signalas, ultra garsas. Pasyvūs metodai nenaudoja papildomų signalų ir tik gauną informaciją apie objekto padėtį. Tarp pasyvių labiausiai paplitęs atstumo matavimas panaudojant vaizdo kameras. Yra įvairių būdų matuoti atstumą su kameromis. Matuojant atstumą su viena kamera dažniausiai reikia žinoti papildomos informacijos iš aplinkos pavyzdžiui kokio nors objekto dydį, ar kameros pasisukimo kampą ir pan. Naudojant dvi ar daugiau kamerų atstumas iki objekto gali būti apskaičiuojamas iš objekto pozicijos skirtumo kamerų atžvilgiu.[1]

Pramonėje labiausiai paplitusi elektroninė matavimo sistema, kuri remiasi šviesos sklidimu, atspindžio, elektromagnetinių bangų, infraraudonųjų spindulių bangomis. Dažniausiai yra siunčiamas signalas iki objekto. Matuojant su kamera, iki objekto nesiunčiami jokie signalai. Siunčiant signalus iki objekto atsiranda paklaidos, dėl kintančio oro temperatūros, drėgmės, slėgio, šviesos, ypač prietaisuose naudojančiuose mikrobangas. Atstumo, ribų matavimas yra labai svarbus pramonėje ir kasdieniniame gyvenime. Nors atstumo matavimas vaizdo kameromis nėra plačiai paplitęs, ir yra vienas iš naujausių būdų. Tai yra labai patogus būdas sistemose, kur naudojamos kameros, įvairūs robotai humanoidai, automobiliai ir pan. Toks matavimo būdas turėtų vis labiau išplisti pramonėje ir kitose srityse, todėl svarbu ištirti tikslumą ir kitas savybes. Šiuo metu atstumo matavimas su kameromis paplitęs automobiliuose, pavyzdžiui matuojamas atstumas iki automobilio esančio priešais, ar naudojamas automatiniam automobilio pastatymui.

**Tyrimų tikslas:** Ištirti atstumo matavimo iš vaizdo medžiagos tikslumą.

**Tyrimo uždaviniai:**

1. Išanalizuoti atstumo matavimo būdus naudojančius vaizdo medžiagą.
2. Sukurti atstumo matavimo sistemas naudojančias vaizdo medžiagą ir atlikti matavimus.
3. Išanalizuoti atliktų matavimų tikslumą, apskaičiuoti paklaidas ir paaiškinti jų kitimą ir atsiradimo priežastis.

# 1. Literatūros analizė ir tyrimų atlikimo metodika.

Apžvelgus literatūra pastebėta, kad dažniausiai naudojami matavimo būdai yra tokie:

- Panaudojant dvi kameras ir atstumas iki objekto apskaičiuojamas naudojant atstumą tarp kamerų.
- Naudojant vieną kamerą ir atstumas iki objekto apskaičiuojamas iš jo dydžio, tai yra iš objekto pločio, ilgio ar aukščio.
- Taip pat dažnai naudojamas būdas atstumą iki objekto apskaičiuoti iš kameros pozicijos ir pasisukimo kampo, tačiau tai dažniausia atliekama su išmaniaisiais įrenginiais, kurie turi jutiklius, galinčius išmatuoti koku kampu įrenginys pasisukęs žemės – grindų atžvilgiu. Arba toks matavimo būdas naudojamas įvairiuose robotuose, kurie taip pat turi tokius jutiklius.

Tyrimė analizuosime ir tirsime matavimo būdus, atsižvelgiant į šiuos – dažniausiai naudojamus.

## 1.1 Kameros, fotoaparatai ir vaizdinė medžiaga

Fotoaparatas – tai optinis mechaninis arba optinis elektroninis prietaisas objektų atvaizdams gauti, erdvinį vaizdą fiksuojantis plokštumoje (šviesai jautriose medžiagose arba puslaidininkių matricoje).[2]

Kelių lęšių objektyvu, įtaisytu metaliniame arba plastikiniame įtvare, į foto medžiagą projektuojamas vaizdas. Diafragma keičiant objektyvo angos skersmenį reguliuojamas pro objektyvą praeinantis šviesos srautas. Sklendė atveria objektyvo angą eksponavimui ir reguliuoja foto medžiagos eksponavimo trukmę (išlaikymą). Vaizdo ieškikliu, kurio optinė sistema dažniausiai gali atlikti ir tolinačio funkciją, nustatomi fotografuojamo vaizdo rėmai (kadras) ir ryškumas. Eksponavimo trukmė nustatoma rankiniu būdu arba automatiškai naudojant eksponometrą arba lenteles (ji priklauso nuo foto medžiagos jautrio ir apšvietos). Foto medžiagoje gaunamas neregimas fotografuojamo objekto atvaizdas. Vaizdo ryškumas įvairiuose fotoaparatuose nustatomas nevienodai. Pastovaus židinio nuotolio fotoaparatuose jis priklauso nuo ryškumo zonos dydžio. Neveidrodiniai fotoaparatai turi tolinačio vaizdo ieškiklį, veidrodinių fotoaparatus (jie būna 1 arba 2 objektyvų) vaizdo ryškumas nustatomas fokusavimu matiniame stikle, į kurį vaizdas nukreipiamas per objektyvą veidrodėliu, fotografuojant perstatomu į eksponavimu netrukdančią padėtį. Automatizuotuose fotoaparatuose daugelis funkcijų



(fokusavimas, eksponavimo trukmės nustatymas, blykstės įjungimas, filmo persukimas ir kt.) atliekama automatiškai.[2]

Skaitmeninė fotografija skiriasi nuo tradicinės (juostinės) tuo, kad šviesa patenka ne į juostą, o į šviesos jutiklių matricą, t. y. šviesos gavėją, tuomet vaizdas apdorojamas ir išsaugomas skaitmeniniu formatu, bitais. Atsiradus skaitmeninei fotografijai prie dviejų pagrindinių fotografijos parametrų – diafragmos bei išlaikymo – prisidėjo ir baltos spalvos balansas, anksčiau priklausęs tik nuo cheminių foto juostos, medžiagos ar plokštelės savybių. Jei nenaudojamas automatinis režimas, fotografas, dirbantis su skaitmenine technika, turi pats pasirinkti ir nurodyti aparatui aplinkos apšvietimo kilmę (dienos šviesa / blykstė / paprasta elektros lemputė ir pan.), arba nurodyti fotografuojamo paviršiaus vietą, kuri nuotraukoje bus balta. Tuomet šviesos jutiklių matrica atitinkamai priderinama visoms kitoms spektro spalvoms, kad spalvų gama nuotraukoje maksimaliai atitiktų įprastą žmogaus akims.[2]

Židinio nuotolis – optinės sistemos dydis, nurodantis, kaip stipriai sistema surenka ar išsklaido šviesą. Tai atstumas nuo lęšio ar veidrodžio centro iki jų židinio. Išgaubto lęšio ar įgaubto veidrodžio atveju židinio nuotolis yra teigiamas dydis ir parodo, kurioje vietoje lygiagrečių šviesos spindulių pluoštas sufokusuojamas į vieną tašką. Įgaubto lęšio ar išgaubto veidrodžio atveju židinio nuotolis yra neigiamas dydis ir parodo, kurioje vietoje tariamas šviesos taškas pradėdamas sklaidyti. Fotoaparato, kameros lęšio židinio nuotolis yra matuojamas milimetrais. Nuo jo priklauso lęšio sukuriamas atvaizdo dydis. Kuo yra didesnis židinio nuotolis, tuo yra didesnis sukuriamas atvaizdas.[3]

Skiriamoji geba, raiška, skyra, rezoliucija – rodomo vaizdo taškų skaičius (pikselis), tenkantis vienam ilgio vienetui. Kuo didesnis taškų skaičius (smulkesni taškai), tuo didesnė skiriamoji geba bei dailesnis ir tikslesnis vaizdas. Terminas vartojamas kalbant apie taškinės grafikos skaitmeninius vaizdus, filmų vaizdus ir kt. Paprastai skiriamoji geba išreiškiama pločio ir aukščio vienetų sandauga, kuri užrašoma kaip plotis  $\times$  aukštis, kur vienetai yra pikseliai. Pavyzdžiui, „1024  $\times$  768“ reiškia, kad vaizdo plotis yra 1024 pikselių, o aukštis – 768 pikselių. Židinio nuotolį ir rezoliuciją lengviau galima suprasti iš 1.6 paveikslo. Paveiksle taip pat parodyti dažnai naudojami matymo kampas ir matymo laukas.[3]

## **1.2 Atstumo matavimas iki objekto su stereoskopinėmis nuotraukomis.**

Stereoskopija naudojama 3D nuotraukoms reprezentuoti. Ji gali sukurti gylio iliuziją nuotraukoje, panaudojant dvi nuotraukas darytas iš skirtingų pozicijų. Yra du būdai padaryti stereoskopinę nuotrauką: Naudojant specialią dviejų lęšių kamerą, arba naudoti dvi vieno lęšio

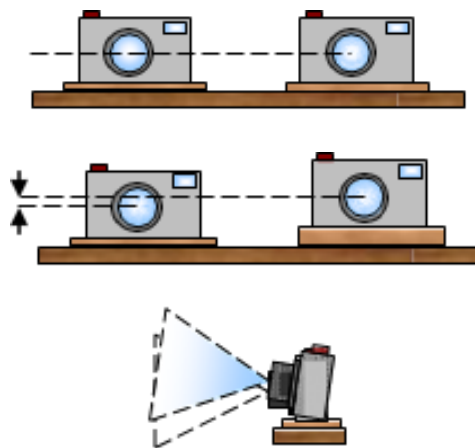
kameras kartu. Stereoskopinės nuotraukos leidžia apskaičiuoti atstumą nuo kameros iki pasirinkto objekto nuotraukoje. Atstumas apskaičiuojamas iš skirtumo tarp nuotraukų ir duomenų kaip židinio nuotolis ir atstumas tarp kamerų. Konkretus objektas parenkamas kairėje nuotraukoje, tuo tarpu dešinėje nuotraukoje automatiškai aptinkamas tas pats objektas naudojant optimizavimo algoritmą, kuris ieško minimalaus skirtumo tarp abiejų nuotraukų. Objekto pozicijos apskaičiavimui gali būti naudojami geometriniai išvedimai. Tikslumas priklauso nuo nuotraukos rezoliucijos, optinių iškraipymų ir atstumo tarp kamerų. Paprastai rezultatai būna gana tikslūs.

Stereoskopinės nuotraukos gali būti daromos su kamerų sistema, panašia į žmogaus akis.

Svarbiausi aspektai sudarant stereoskopinių kamerų sistemą yra:

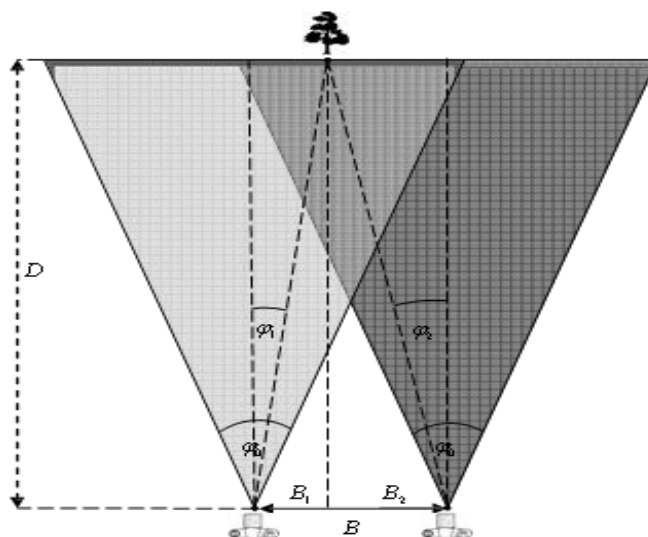
- Kameros turi būti horizontaliai lygiuotos ir suderintos (1.1 pav.).
- Nuotraukos turėtų būti daromos tuo pačiu metu jei vaizdas dinamiškas ir besikeičiantis.

Jei vaizdas statinis, tai laikas tarp nuotraukų darymo nėra svarbus.



1.1 Pav. Tinkamai suderinamos kameros ir kamerų suderinimo klaidos.[4]

Stereoskopinės nuotraukos leidžia apskaičiuoti atstumą nuo kameros iki pasirinkto objekto nuotraukoje.



1.2 Pav. Atstumo matavimo su dviem kameromis schema.[4]

Jeigu dešinė kamera pažymima SD o kairė SK, o atstumas tarp jų B ir kampas  $\varphi_0$ , tuomet pagal geometrinės išvestis galima apskaičiuoti atstumą iki objekto (1.2 pav.).

Galime išreikšti atstumą B sudedant B1 ir B2

$$B = B1 + B2 = D \tan \varphi_1 + D \tan \varphi_2 \quad (1)$$

B – Atstumas tarp kamerų

D – Apskaičiuotas atstumas

Jeigu kameros pastatytos lygiagrečiai viena kitai, kur  $\varphi_1$  ir  $\varphi_2$  yra optinės ašys tarp kameros ir pasirinkto objekto vaizde, tai atstumą galime išreikšti formule:

$$D = \frac{B}{(\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2)} \quad (2)$$

Kampus  $\varphi_1$  ir  $\varphi_2$  apskaičiuoti galime iš gautų nuotraukų. Tik reikia žinoti kameros horizontalų matymo kampą, horizontalų pikselių skaičių nuotraukoje ir objekto vietą nuotraukoje.

$$\frac{x_1}{\frac{x_0}{2}} = \frac{\tan \varphi_1}{\tan(\frac{\varphi_0}{2})} \quad (3)$$

$\varphi_0$  – Kamerų matymo kampas

$X_0$  – Nuotraukos plotis pikseliais

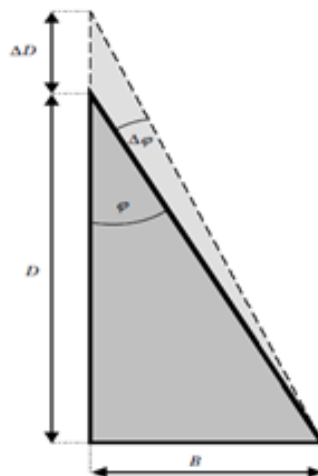
$X_1$  – Kairės nuotraukos atpažinto objekto vieta nuotraukoje pikseliais

$$\frac{x_2}{\frac{x_0}{2}} = \frac{\tan \varphi_2}{\tan(\frac{\varphi_0}{2})} \quad (4)$$

Jeigu žinome atstumą tarp kamerų ( $B$ ), horizontalių pikselių skaičių nuotraukoje ( $x_0$ ), žiūrėjimo kampą iš kameros ( $\varphi_0$ ), ir horizontalų atstumų tarp, to paties, objekto abiejuose nuotraukose, tuomet galima apskaičiuoti atstumą nuo kameros iki objekto.

$$D = \frac{Bx_0}{2 \tan(\frac{\varphi_0}{2}) * (x_2 - x_1)} \quad (5)$$

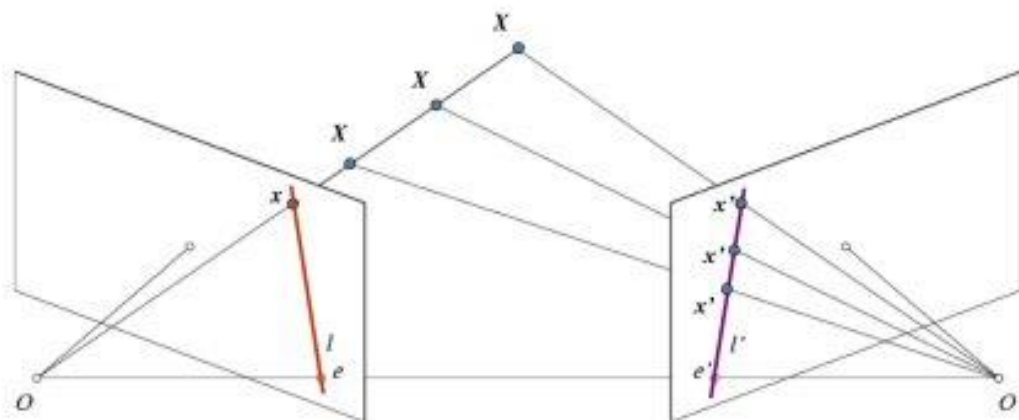
Apskaičiuotas atstumo tikslumas priklauso nuo keleto kintamųjų. Objekto vietą nuotraukoje galima rasti pikselio tikslumu, todėl kiekvienas pikselis atitiks skirtingą kampą projekcijoje.



1.3 Pav. Paklaida susidaranti dėl vieno pikselio paklaidos.[4]

Reali paklaida gali būti daug didesnė dėl optinių klaidų, kameros ar objekto judėjimo

Atstumą taip pat galima matuoti kameras pasukus kampu, kaip parodyta 1.4 paveiksle. Bet jei objektas toli, tai jis gali nepatekti į kurios nors kameros vaizdą, taip pat sunkiau sulygiuoti kameras, reikia papildomai skaičiuoti ir matuoti jų kampus. Todėl toks atstumo matavimo būdas pasitaiko retai.



1.4 Pav. Atstumo matavimas, kai kameros nėra lygiagrečiai.[4]

### 1.3 Atstumo matavimas iki objekto žinant realų objekto dydį.

Atstumui matuoti, kai žinomas objekto dydis yra keletas būdų. Vienas iš būdų apskaičiuoti koeficientą, iš nuotraukos, kai žinomas objekto realus dydis, jo dydis nuotraukoje pikseliais ir atstumas iki objekto:

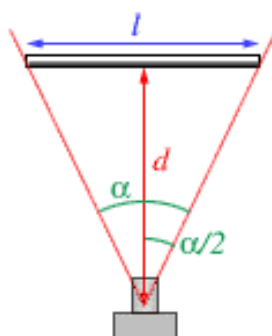
$$K = \frac{P * D}{W} \quad (6)$$

P – objekto plotis nuotraukoje pikseliais, D – atstumas iki objekto, W – objekto realus plotis. Apskaičiavus koeficientą formulėje išreiškiamas atstumas ir į ją įstatomas apskaičiuotas koeficientas.

$$D = \frac{W * K}{P} \quad (7)$$

Jeigu tą patį objektą perkelsime toliau, tai objekto plotis nuotraukoje bus mažesnis, todėl apskaičiuotas atstumas –  $D$  proporcingai didesnis. Šis matavimo metodas yra labai paprastas, bet nėra labai tikslus. Tikslumas labai priklauso nuo nuotraukos, iš kurios apskaičiuotas koeficientas. Kad rezultatai gautųsi tikslesni koeficientus galima apskaičiuoti iš daugiau nuotraukų ir išvesti jų vidurkį.

Kitas būdas apskaičiuoti atstumą, kai žinomas objekto dydis, panaudoti kameros matymo lauką ir matymo kampą. Pritaikius trigonometrines formules apskaičiuoti atstumą iki objekto. Kameros matymo kampą galima sužinoti iš kameros naudojimo instrukcijos arba apskaičiuoti.



1.5 Pav. Kameros matymo kampas.

Paprasčiausia apskaičiuoti kameros matymo kampą galime iš nuotraukos, kurioje per visą plotį nufotografuojama liniuotė (jeigu reikia horizontalaus matymo kampo). Tuomet puse kameros kampo bus lygu: puse atstumo telpančio į nuotrauką padalinto iš atstumo iki kameros.

Matymo kampas apskaičiuojamas pagal formules:

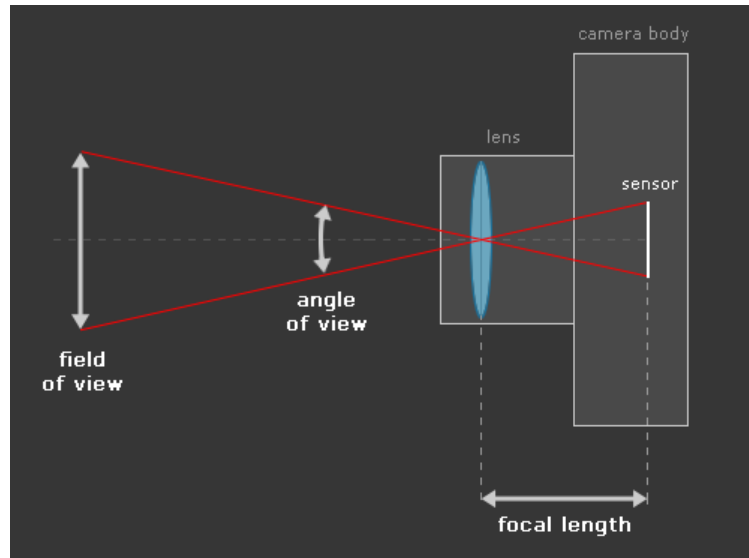
$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{l}{2d} \quad (8)$$

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{l}{2d} \quad (9)$$

Tuomet atstumas iki objekto apskaičiuojamas pritaikius proporcijas, ir formulė:

$$D = \frac{x_0 * ObjPl}{x_1 * \tan \alpha/2} \quad (10)$$

$x_0$  – objekto plotis pikseliais,  $ObjPl$  – realus objekto plotis,  $x_1$  – nuotraukos plotis pikseliais,  $\alpha$  - horizontalus kameros matymo kampas.



1.6 Pav. Kameros židinio nuotolis, matymo kampas vaizdo plotis ir sensorius.[5]

Dar vienas matavimo būdas, kai panaudojama kameros židinio nuotolis ir kameros sensoriaus plotis. Kameros židinio nuotolį taip pat galima apskaičiuoti, bet paprastai jis būna pateiktas kamerų aprašymuose. Aprašomas kaip vienas iš tiksliausių matavimo būdų naudojant vieną kamerą.

Atstumas iki objekto apskaičiuojamas vaizdo židinio nuotolį padauginus iš objekto realaus pločio ir nuotraukos pločio pikseliais, ir padalinus iš kameros sensoriaus pločio ir objekto pločio nuotraukoje pikseliais.

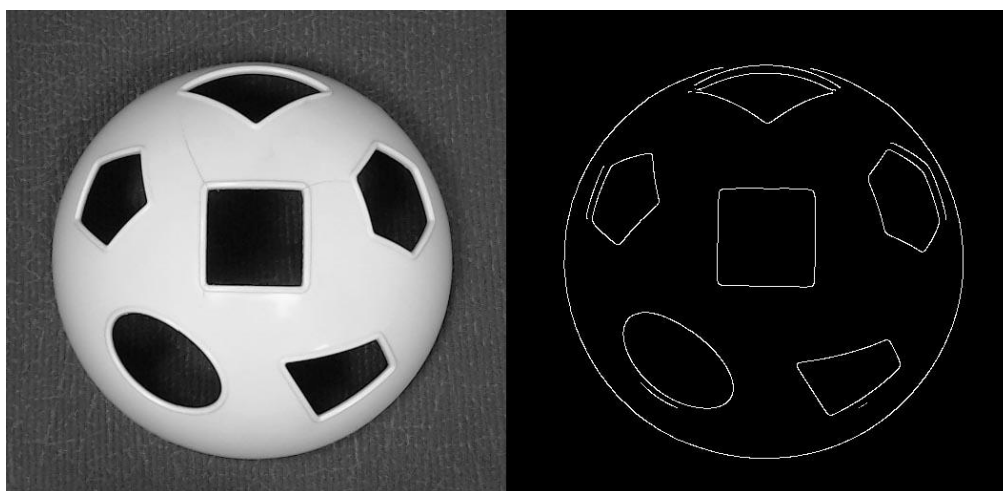
$$D = \frac{F * ObjPl}{SP * \frac{ObjPix}{NPix}} \quad (11)$$

$D$  – atstumas iki objekto,  $F$  – kameros židinio nuotolis,  $ObjPl$  objekto realus plotis,  $SP$  – kameros jutiklio plotis,  $ObjPix$  – objekto plotis nuotraukoje pikseliais,  $NPix$  – nuotraukos plotis pikseliais.

## 1.4 Objekto atpažinimas

Visuose aprašytuose atstumo matavimo būduose naudojamas objektų aptikimas, iki kurių matuojamas atstumas. Žmogus, matydamas aplinką, lengvai išskiria ir atpažįsta įvairius objektus – tai savaime suprantama užduotis, tačiau tam yra naudojama žmogaus patirtis, įgyta per ilgą laiką. Objektų atpažinimas yra sudėtingas veiksmas, iki šiol neturintis vieningų ir universalių algoritmų, gerai ar bent patenkinamai veikiančių įvairiose situacijose.

Objektų atpažinimo problemą galime apibrėžti taip: objekto atpažinimas vaizde jį įvardinant. Arba uždavinį galima formuluoti atvirkščiai: duotame vaizde reikia rasti vieną ar kelis dominančius (įvardintus) objektus, pažymėti jų vietą ar sritį. Sistema turi apibrėžti objektą, jį išskirti ir įvardinti. Lokaliosios savybės paprastai nustatomos objekto kontūro, srities vidinėje dalyje arba riboje tarp kelių sričių. Lokaliosiomis savybėmis mažus plotus galima atskirti vieną nuo kito. Staigūs linijų posūkiai yra vadinami briaunomis ir yra labai aktualūs objekto atpažinimo procedūrai. Paprastai lokaliosios savybės ir jų taškai ieškomi charakteringose vietose, turinčiose savo išskirtinumą: paprastai tai būna kelių linijų sankirta, objekto kampai, ypatinga taškų kombinacija, forma, ribos ir pan.[6]



1.7 Pav. Objekto atpažinimas išskiriant kraštus.[7]

Kadangi objektų atpažinimas yra sudėtingas procesas, tyrime naudosime vieną iš paprasčiausių: kraštų išskyrimą. Kai aplink daug daiktų šis metodas būtų netinkamas, bet jei nuotraukoje bus tik objektas, iki kurio matuosime atstumą ir vienspalvis fonas, objektas bus išskiriamas gana lengvai. Tuomet ieškomas didžiausias stačiakampis ar kita figūra iš išskirtų kraštų, tai bus ieškomas objektas.



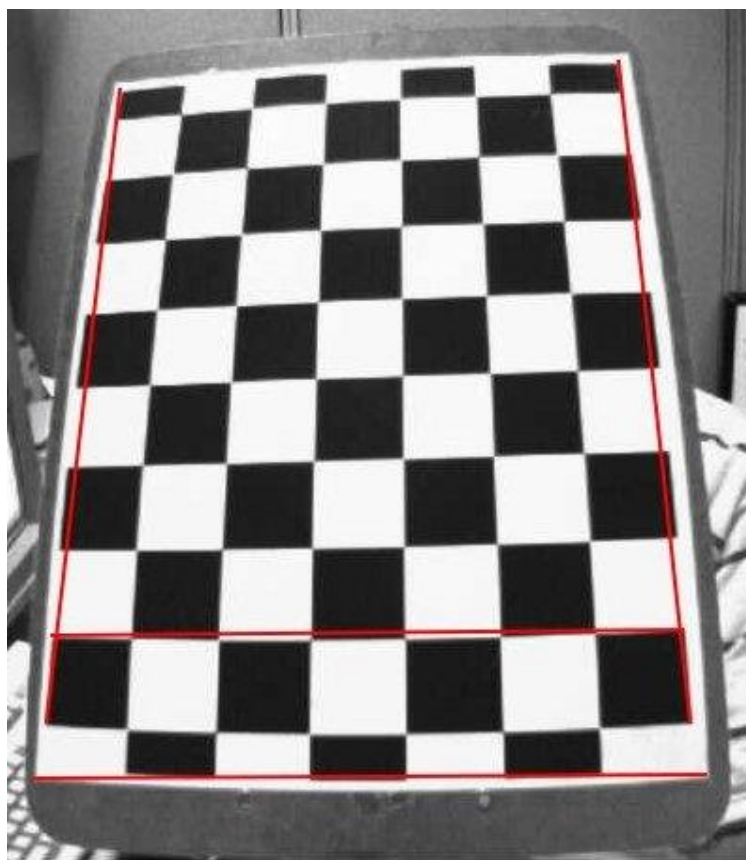
### 1.5 Nuotraukų iškraipymas ir kameros kalibravimas su „OpenCV“

Nuotraukos turi įvairius iškraipymus, kurie atsiranda dėl kameros lęšio ar kitų priežasčių. Todėl vaizdas nuotraukose dažnai būna iškraipytas. Tai gali daryti įtaką apdorojant vaizdus, pavyzdžiui aptikus objektą nuotraukoje jis bus platesnis ar jo kraštai nelygūs, kaip 1.8 paveiksle. Yra du pagrindiniai nuotraukų iškraipymai: radialinis iškraipymas ir tangentinis iškraipymas. Radialinis iškraipymas, kai tiesios linijos tampa išlenktomis. Iškraipymai didžiausi nuotraukos kraštuose, o centre mažiausi. 1.8 paveiksle parodyta šachmatų lenta ir tiesios raudonos linijos. Matome, kad lentos kraštai yra išlenkti ir nesutampa su raudonomis linijomis.[8]

Radialiniai iškraipymai pašalinami:

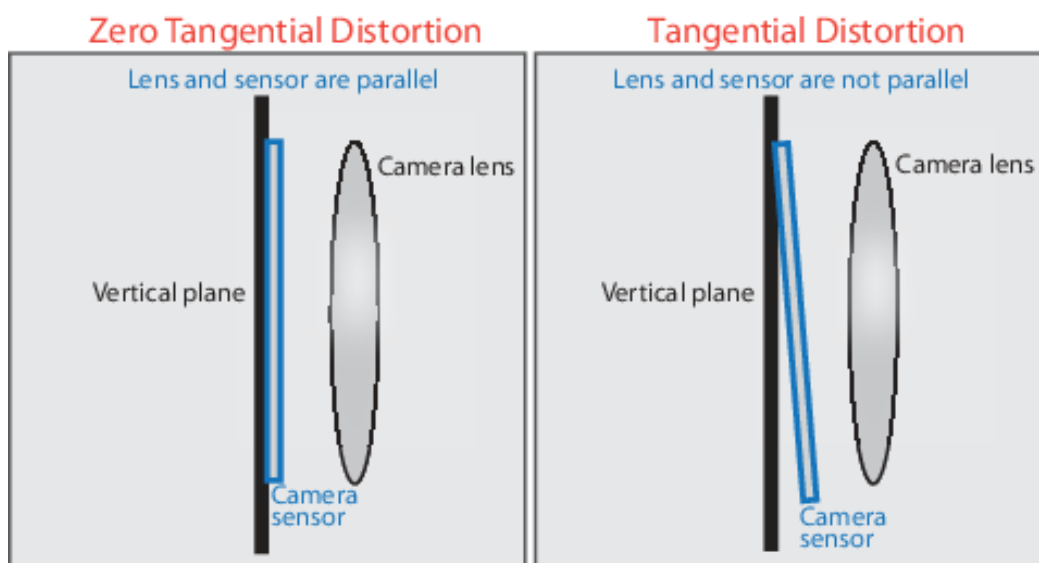
$$Xr = X(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \quad (12)$$

$$Yr = Y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \quad (13)$$



1.8 Pav. Nuotrauką su radialiniais iškraipymais.[8]

Panašūs yra ir tangentiniai iškreipymai, kurie atsiranda dėl kameros lęšio ir sensoriaus kampų neatitikimo. Kai kurios nuotraukos sritys gali atrodyti arčiau nei ar toliau nei yra iš tikro.



1.9 Pav. Tangentinio iškreipymo atsiradimo priežastys.[8]

Tangentiniai iškreipymai pašalinami:

$$Xt = X + [2p_1XY + p_2(r^2 + 2X^2)] \quad (14)$$

$$Yt = Y + [2p_2XY + p_1(r^2 + 2Y^2)] \quad (15)$$

Norint pašalinti radialinius ir tangentinius iškreipimus reikia rasti penkis koeficientus.

$$\text{Iškreipymų koeficientai} = (k_1; k_2; p_1; p_2; k_3) \quad (16)$$

Atlikti kameros kalibravimui reikia žinoti ir daugiau parametrų. Židinio nuotolį ( $f_x, f_y$ ), optinį centrą ( $c_x, c_y$ ). Tai dar vadinama kameros matrica, kuri priklauso tik nuo pačios kameros.

$$Kameros\ matrica = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

Norint rasti šiuos parametrus su „OpenCV“ programavimo biblioteka, reikia atlikti keletą nuotraukų, kur aiškiai matytųsi iškraipymai, puikiai tinka šachmatų lenta ar atspausdintas popieriaus lapas su kvadratėliais. Randami kvadratėlių kampai. Taip pat reikia žinoti fotografuojamų kvadratėlių dydžius, tuomet nuotraukoje randamos kvadratėlių koordinatės. Taip sulyginamas realus kvadratėlių dydis su gautais nuotraukoje ir apskaičiuojami iškraipymo koeficientai. Kad gautųsi tikslesni rezultatai reikia bent 10 nuotraukų.[8]

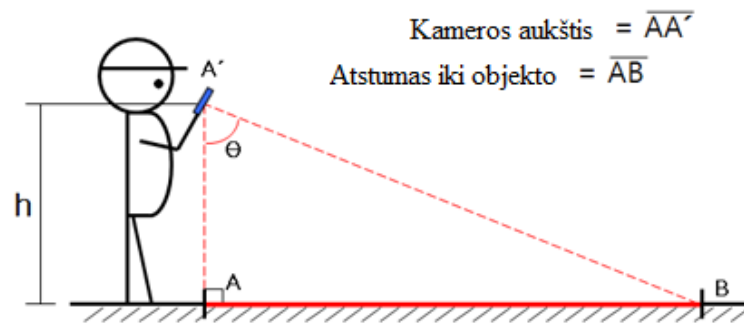
„OpenCV“ biblioteka turi suprogramuotus kamerų kalibravimo pavyzdžius, todėl užtenka tik nuotraukų ir programoje pakeisti kameros matricą pagal savo kamerą. Gauti koeficientai naudojami pašalinti iškraipymus nuotraukose. Panaudojama bibliotekos funkcija *cv2.undistort* arba *cv2.remap* įrašant gautus koeficientus. Rezultatas gaunamas identiškas abiem atvejais, nuotraukoje linijos tampa tiesiomis ir nebėra iškraipymų.

### **1.6 Atstumo matavimas iki objekto panaudojant kameros poziciją ir pasisukimo kampą.**

Ši matavimo sistema nepagrįsta vaizdo apdorojimu, panaudojama tik kameros aukštis virš žemės ir pasisukimo kampas. Šios informacijos užtenka apskaičiuoti atstumui iki objekto, tik vaizdo kameros centras turi būti pasuktas į objekto ir žemės susikirtimo vietą, kaip parodytą 1.10 paveiksle, kad susidarytų trikampis, iš kurio apskaičiuojamas atstumas.

Matavimo sistema gali būti panaudojama robotams, kurie gali atpažinti objektus ir matuoti atstumą iki jo neturėdami jokios papildomos informacijos iš išorės, tik panaudodami savo pasyvius sensorius – kamerą, jos pasisukimo kampą ir programinę įrangą. Robotams gali būti pritaikytas šis matavimo būdas, kaip alternatyva vietoj optinių jutiklių, taip atsikratoma ne tik papildomo svorio, bet yra ir ekonomiška, užtenka išplėsti programinę įrangą.

$$AB = A'A * \tan \theta \quad (18)$$



1.10 pav. atstumo matavimo schema panaudojant aukštį, kuriame yra kamera, ir pasisukimo kampą.[9]

## 2 Tyrimų rezultatai.

### 2.1 Atstumo apskaičiavimas kai žinomas objekto plotis

Atstumo iki objekto tikslumui iširti atlikti matavimai esant septyniems skirtingiems atstumams, su dviem skirtingomis kameromis ir dviem skirtingo dydžio objektais. Tai leis palyginti tikslumą, kai skiriasi nuotraukos kokybė – skiriamoji geba, ir objekto dydis iki kurio matuojamas atstumas. Atstumas apskaičiuojamas iš vienos nuotraukos, atpažinus objektą ir programai apskaičiavus, kiek pikselių objektas užima nuotraukoje.

#### 2.1.1 Apskaičiavimo principas ir naudojami duomenys

Šiuo atveju norint apskaičiuoti atstumą iki objekto iš nuotraukos, bus panaudotas pačio objekto plotis, kurį žinome. Taip pat analogiškai skaičiavimai būtų naudojant objekto aukštį.

Skaičiavimuose naudojama:

- Kamerų židinio nuotoliai = 3,97; 1,92 mm
- Kamerų sensoriaus pločiai = 4,00; 1,94 mm
- Nuotraukos plotis pikseliais = 2448, 640 pikseliai
- Realus objekto plotis = 0,15; 0,297 m
- Objekto plotis nuotraukoje pikseliais

Matavimams atlikti bus naudojama išmaniojo telefono Samsung galaxy SII ir HP kompiuterio kameros. Kameros židinio nuotolis ir kameros sensoriaus plotis gautas iš telefono ir kompiuterio naudojimo instrukcijos. Atstumas iki objekto apskaičiuojamas vaizdo židinio nuotolį padauginus iš objekto realaus pločio ir nuotraukos pločio pikseliais, ir padalinus iš kameros sensoriaus pločio ir objekto pločio nuotraukoje pikseliais.

$$D = \frac{F * ObjPl}{SP * \frac{ObjPix}{NPix}} \quad (19)$$

D – atstumas iki objekto, F – kameros židinio nuotolis, ObjPl objekto realus plotis, SP – kameros jutiklio plotis, ObjPix – objekto plotis nuotraukoje pikseliais, NPix – nuotraukos plotis pikseliais.

### 2.1.2 Programa

Programa parašyta python programavimo kalba OpenCV biblioteka, kuri supaprastina ir pagreitina darbą su vaizdais, jų atpažinimą ir apdorojimą.

Pirmiausia apibrėžiame funkcija, kuri naudos argumentą „*image*“ – nuotraukas kurias naudosime matuojant atstumą. Funkcijoje nuotrauka iš BGR spalvų modelio paverčiama į juodai baltą. Toliau naudojamas „*gaussian noise*“ metodas, pašalinti ryškumo ar spalvų atsitiktinius triukšmus, kurie atsiranda fotografuojant. Po to išskiriami kraštai, kur keičiasi spalvos intensyvumas.

```
def find_marker(image):  
  
    gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)  
  
    gray = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 1)  
  
    krastai = cv2.Canny(gray, 41, 131)
```

Vėliau iš išskirtų kontūrų nuotraukoje išrenkamas didžiausias savo plotu, kuris ir yra objektas iki kurio skaičiuojame atstumą. Apskaičiuojami objekto matmenys ir siunčiami į tolesnę programą.

```
(_, cnts, _) = cv2.findContours(krastai.copy(), cv2.RETR_LIST, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)  
  
    (cnts, _) = cv2.findContours(krastai.copy(), cv2.RETR_LIST,  
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)  
  
    c = max(cnts, key = cv2.contourArea)  
  
    return cv2.minAreaRect(c)
```

Ieškomi tik tokie kontūrai, kurie turi keturis taškus, tai yra tik stačiakampiai, ir išrenkamas didžiausias stačiakampis. Kontūrą ribojantis stačiakampis su savo koordinatėmis ir pločiu, aukščiau naudojamas apskaičiuojant atstumą.

Apskaičiuojamas atstumas iki objekto, pagal anksčiau aprašytą formulę. Panaudojant apskaičiuotą objekto plotį pikseliais, kameros židinio nuotolį, kameros sensoriaus plotį, realų objekto plotį, nuotraukos plotį pikseliais.

```
def atstumas_iki_kameros(objekto_plotis_pix, zidinio_nuotolis, sensoriaus_plotis,
nuotraukos_plotis, objekto_realus_plotis ):

    # formule skaiciuoja atstuma nuo kameros iki objekto

    return (zidinio_nuotolis * objekto_realus_plotis * nuotraukos_plotis) /
(sensoriaus_plotis * objekto_plotis_pix)

# aprašomi žinomi parametrai

ObjektoPlotis = 0.15

F = 3.97

SP = 4.54

NPix = 1142
```

Toliau programoje nurodomos naudojama nuotrauka, kurioje programa aptiks objektą ir apskaičiuos jo plotį. Prieš tai nuotraukose pašalinami iškraipymai, kaip aprašyta nuotraukų iškraipymo ir kamerų kalibravimo su „OpenCV“ skyriuje. Panaudojama funkcija *cv2.undistort*.

```
# nurodo nuotraukų vietą

IMAGE_PATHS = ["C:\Users\jonas\Desktop\opencv\atstumas100.jpg"]

Nuotrauka1 = cv2.undistort(IMAGE_PATHS[0], mtx, dist, None, newcameramtX)

x,y,w,h = roi

Nuotrauka1= Nuotrauka1[y:y+h, x:x+w]

cv2.imwrite('image1.jpg', nuotrauka1)

# nuotraukos nuskaitomos ir naudojama funkcija find_marker

image = cv2.imread(nuotrauka1, 4)

marker = find_marker(image)
```

Naudojama anksčiau aprašyta funkcija „*find maker*“. Ir apskaičiuojamas atstumas iki objekto panaudojant visus duomenis turėtus duomenis ir apskaičiuotus iš nuotraukos.

```
for imagePath in IMAGE_PATHS:
```

```

image = cv2.imread(imagePath)

marker = find_marker(image)

atstumas = atstumas_iki_kameros(marker[1][0], F, SP, NPix, ObjektoPlotis)

```

Aplink Objektą nubraižomi kontūrai, taip pat ant nuotraukos užrašomas apskaičiuotas atstumas ir nuotrauka išvedama į ekraną.

```

print(' %.5f % marker[1][0])

        print(' %.5fm' % atstumas)

box = cv2.boxPoints(marker)

# box = np.int0(cv2.cv.BoxPoints(marker))

box = np.array(box).reshape((-1,1,2)).astype(np.int32)

cv2.drawContours(image, [box], -1, (0, 255, 0), 2)

cv2.putText(image, "%.2fm" % (atstumas ),
            (image.shape[1] - 400, image.shape[0] - 300),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 2.0, (0, 255, 0), 2)

cv2.namedWindow('image', cv2.WINDOW_NORMAL)

cv2.imshow("image", image)

cv2.waitKey(0)

```

### 2.1.3 Rezultatai

Atstumo iki objekto tikslumui iširti atlikti trys matavimai (trys skirtingos nuotraukos) esant vienodoms sąlygoms – tai pačiai nuotraukos skiriamajai gebai ir objekto dydžiui. Pasirinkti septyni skirtingi atstumai: 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 5; 7 metrai. Iš anksčiau apžvelgtos teorijos žinome, kad matavimų tikslumui įtaką daro nuotraukos kokybė – skiriamoji geba, todėl tyrime naudojame dvi skirtingas nuotraukų rezoliucijas. Taip pat matavimai atlikti su dviem skirtingo dydžio objektais.





2.1 Pav. programos atpažintas objektas

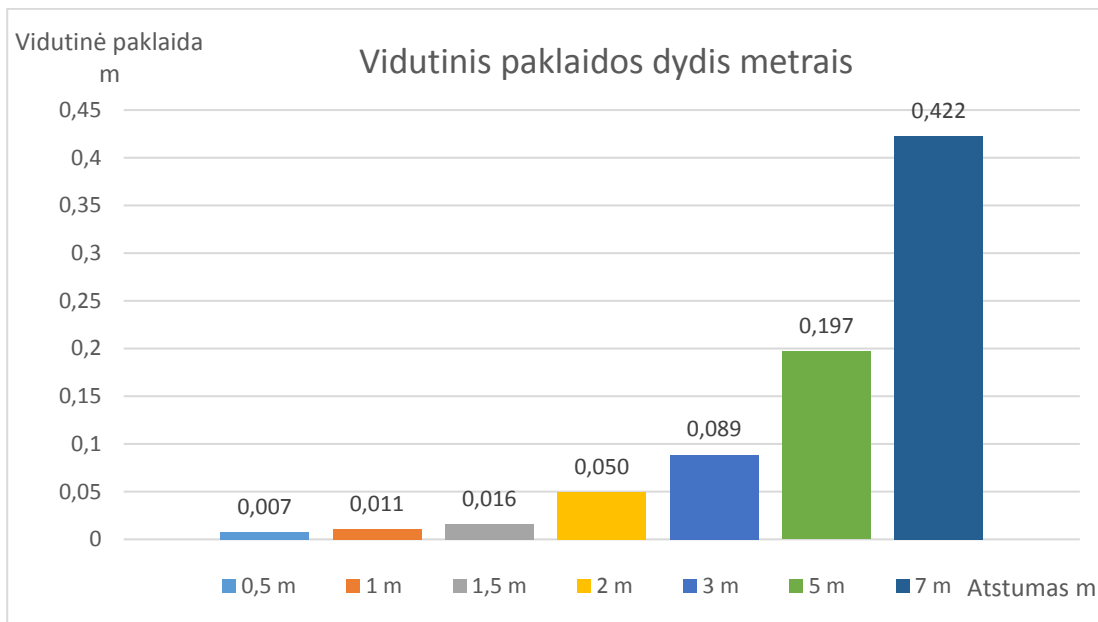
**Atstumo matavimas kai: nuotraukos plotis 640 pikselių, objekto plotis 0,16 metro.**

2.1 lentelė. Atstumo matavimas kai nuotraukos plotis 640 pikselių, objekto plotis 0,16 metro.

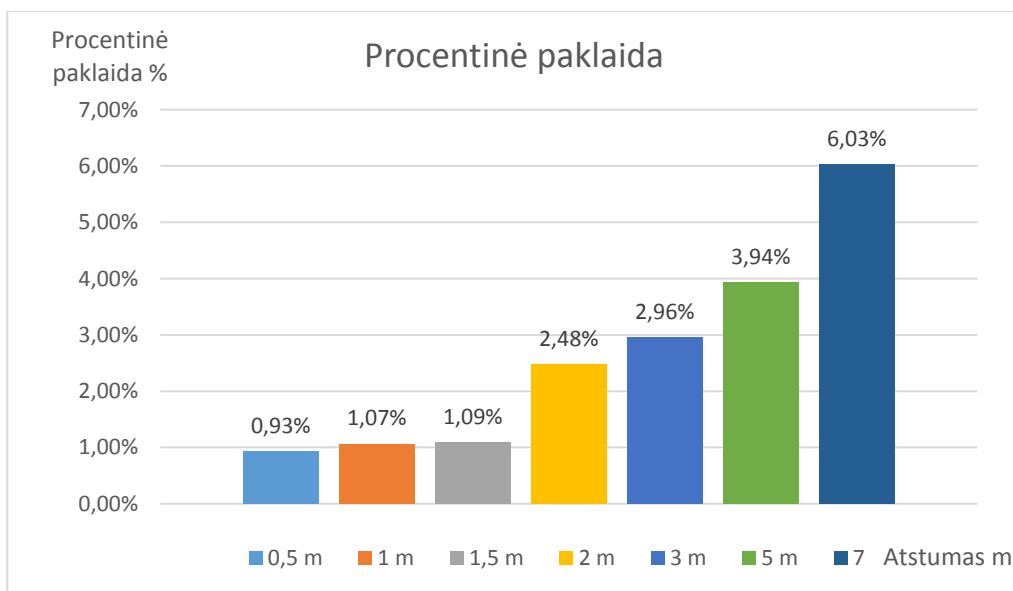
Atstumas, $m$	1 matavimas, $m$ (pikseliai)	2 matavimas, $m$ (pikseliai)	3 matavimas, $m$ (pikseliai)
0,5 $m$	0,497 (206,0)	0,493 (207,7)	0,504 (205,6)
1 $m$	0,988 (102,5)	1,016 (100,2)	0,996 (101,3)
1,5 $m$	1,485 (68,0)	1,517 (67,0)	1,517(67,0)
2 $m$	2,032 (50,0)	2,117(48,0)	2,074 (49,0)
3 $m$	2,989 (34,0)	3,176 (32,0)	3,079 (33,0)
5 $m$	5,081 (20,0)	4,839 (21,0)	5,349 (19,0)
7 $m$	6,775 (16,0)	6,775 (16,0)	7,259 (15,0)

2.1 lentelėje, pateikta atstumo matavimo rezultatai kai objekto plotis 0,16 metro ir nuotraukos plotis 640 pikselių. Kairėje lentelės pusėje pateikti atstumai (0,5; 1; 1,5; 2; 3; 5; 7 m),

prie kurių atlikti matavimai. Toliau pateikti išmatuoti atstumai iš nuotraukų (kiekvienam matavimui skirtinga nuotrauka) ir skliausteliuose pikseliai, kurie gauti programai atpažinus objektą nuotraukoje ir apskaičiavus jo plotį.



2.2 Pav. Paklaidos kai rezoliucija 640 pikselių, o objekto plotis 0,16 metro.

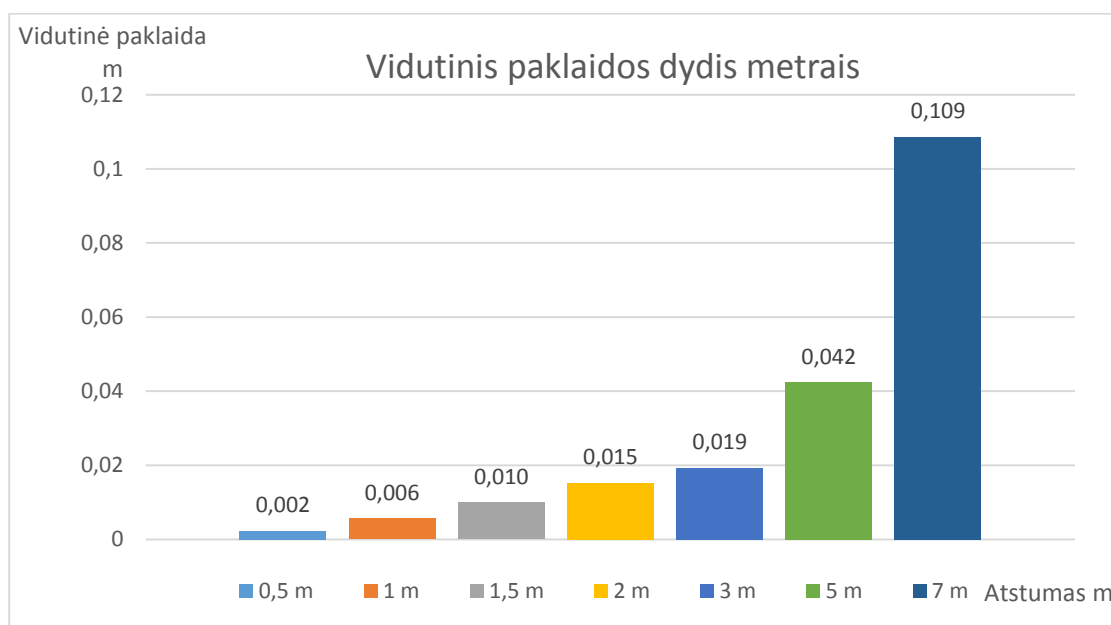


2.3 Pav. Procentinės paklaidos kai rezoliucija 640 pikselių, o objekto plotis 0,16 metro.

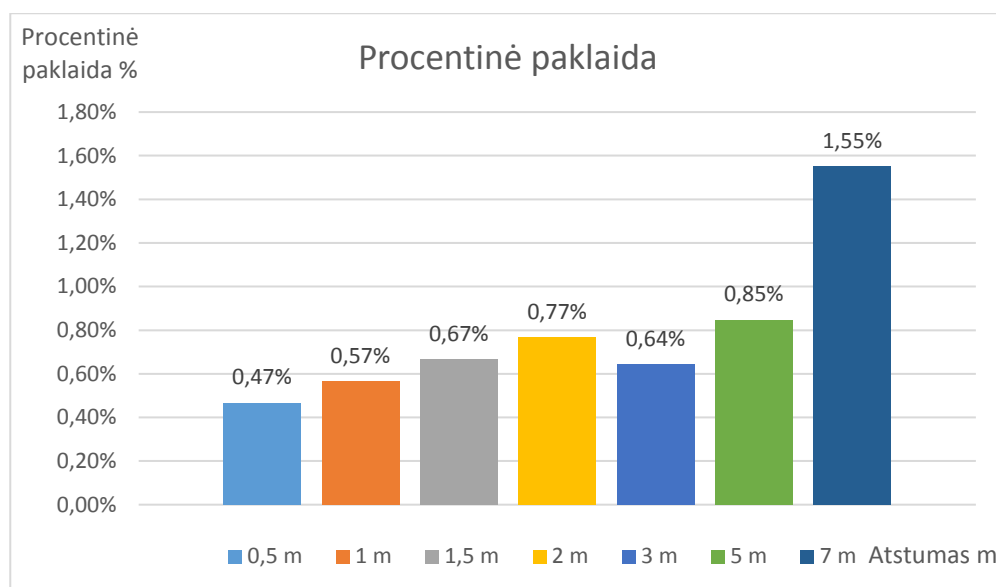
**Atstumo matavimas kai: nuotraukos plotis 2448 pikselių, objekto plotis 0,16 metro.**

2.2 lentelė. Atstumo matavimas kai nuotraukos plotis 2448 pikselių, objekto plotis 0,16 metro.

Atstumas, <i>m</i>	1 matavimas, <i>m</i> (pikseliai)	2 matavimas, <i>m</i> (pikseliai)	3 matavimas, <i>m</i> (pikseliai)
0,5 <i>m</i>	0,499 (785,4)	0,503 (783,6)	0,497 (784,3)
1 <i>m</i>	1,009 (385,3)	0,998 (388,5)	1,006 (387,8)
1,5 <i>m</i>	1,507 (257,9)	1,484 (259,9)	1,507 (257,8)
2 <i>m</i>	2,024 (192,7)	1,988 (195,7)	1,990 (195,5)
3 <i>m</i>	3,03 (128,9)	3,012 (128,9)	2,987 (130,1)
5 <i>m</i>	5,048 (77,0)	4,973 (78,0)	5,052 (78,0)
7 <i>m</i>	6,941 (56,0)	7,199 (54)	7,068 (55,0)



2.4 Pav. Paklaidos kai rezoliucija 2448 pikselių, o objekto plotis 0,16 metro.

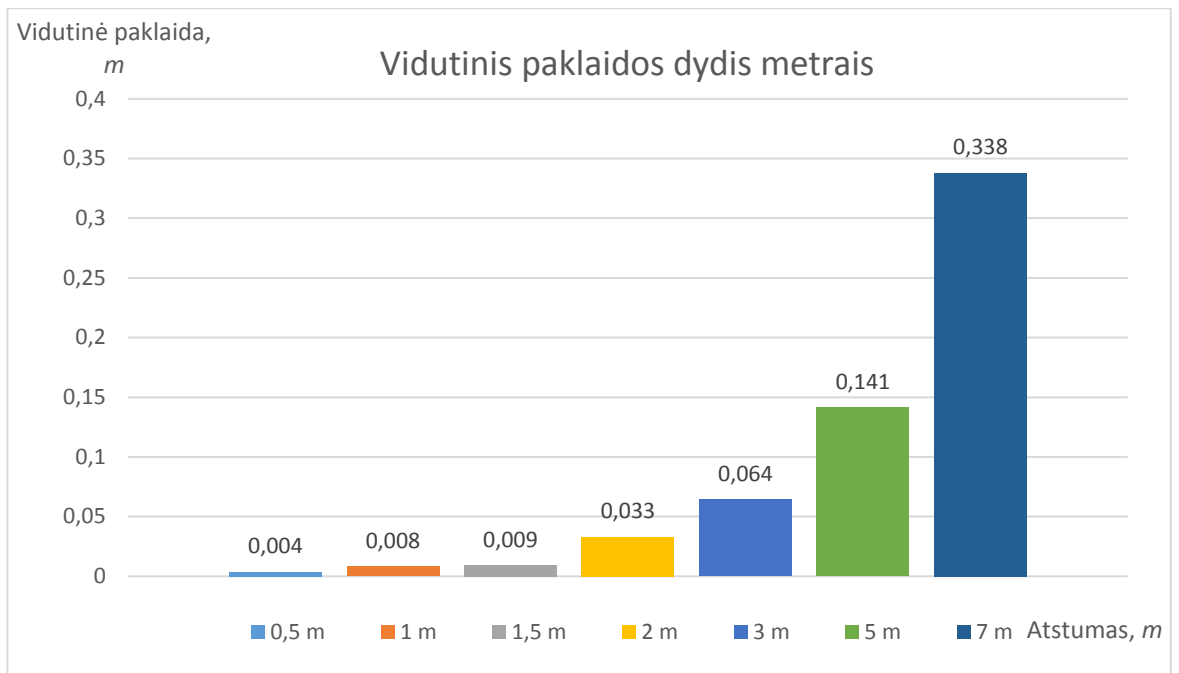


2.5 Pav. Procentinės paklaidos kai rezoliucija 2448 pikselių, o objekto plotis 0,16 metro.

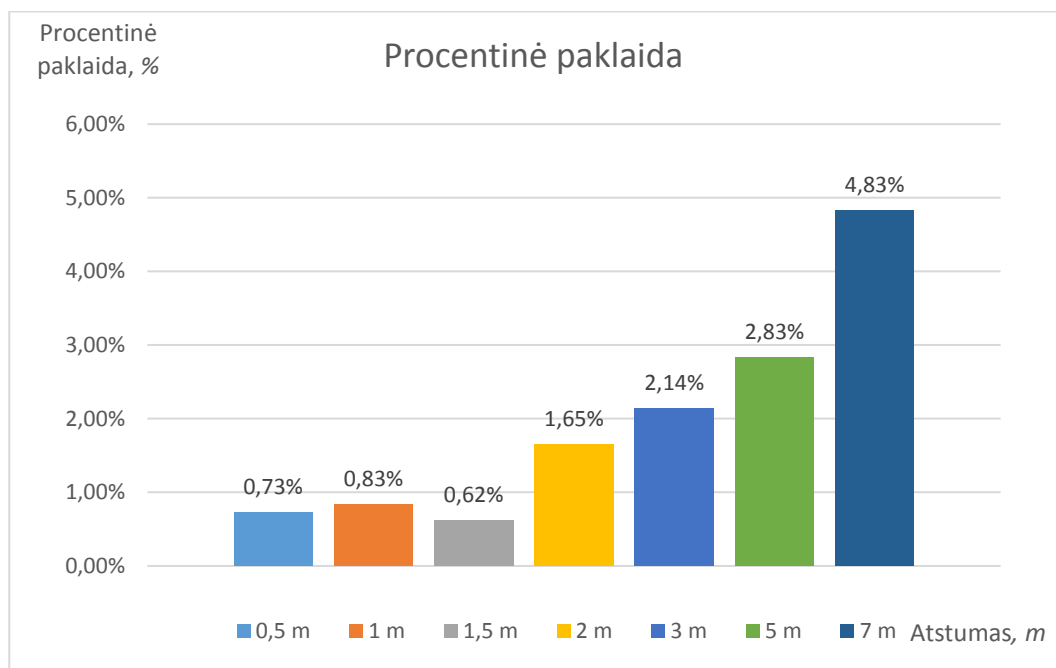
**Atstumo matavimas kai: nuotraukos plotis 640 pikselių, objekto plotis 0,297 metro.**

2.3 lentelė. Atstumo matavimas kai nuotraukos plotis 640 pikselių, objekto plotis 0,297 metro.

Atstumas, <i>m</i>	1 matavimas, <i>m</i> (pikseliai)	2 matavimas, <i>m</i> (pikseliai)	3 matavimas, <i>m</i> (pikseliai)
0,5 <i>m</i>	0,499 (378,2)	0,504 (375,4)	0,506 (376,2)
1 <i>m</i>	0,992 (189,9)	1,008 (187,1)	1,009 (187,1)
1,5 <i>m</i>	1,509 (125,0)	1,492 (126,5)	1,511 (124,9)
2 <i>m</i>	2,028 (93,0)	1,944 (97,0)	1,985 (95,0)
3 <i>m</i>	3,042 (62,0)	2,902 (65,0)	2,947 (64,0)
5 <i>m</i>	4,837 (39,0)	5,098 (37,0)	4,837 (39,0)
7 <i>m</i>	7,256 (26,0)	6,737 (28,0)	6,505 (29,0)



2.6 Pav. Paklaidos kai rezoliucija 640 pikselių, o objekto plotis 0,297 metro.

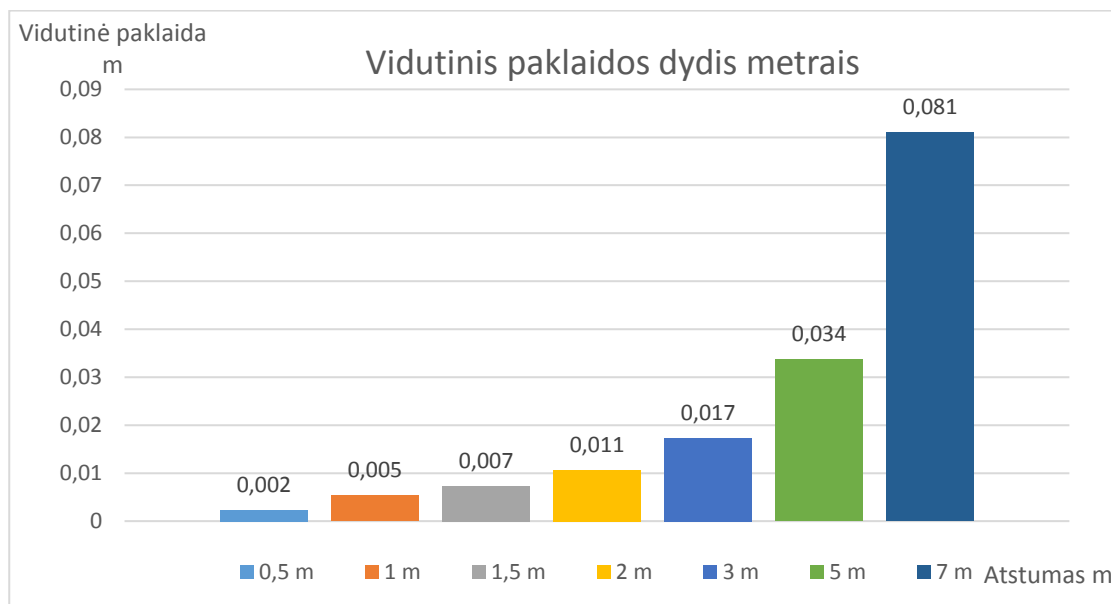


2.7 Pav. Procentinė paklaida kai rezoliucija 640 pikselių, o objekto plotis 0,297 metro

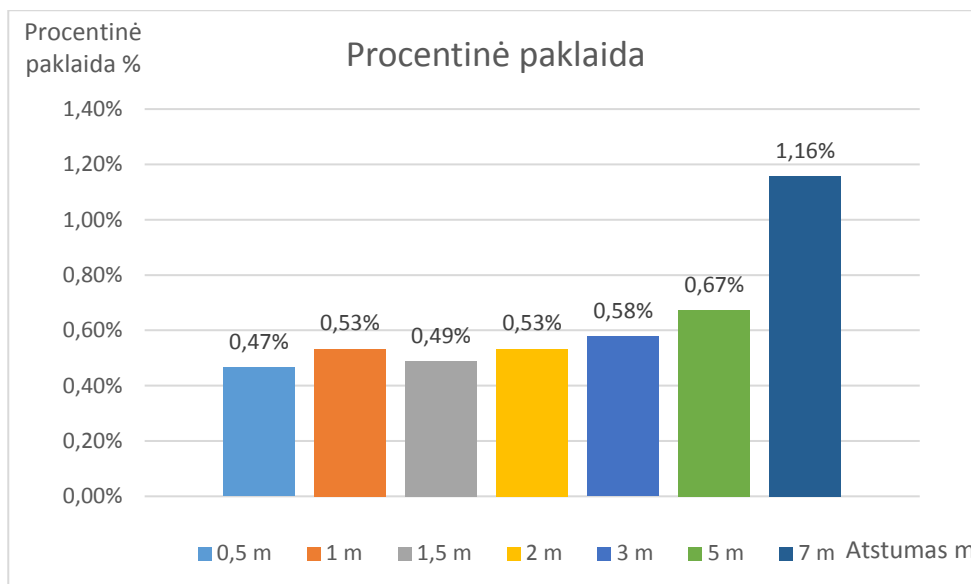
**Atstumo matavimas kai: nuotraukos plotis 2448 pikselių, objekto plotis 0,297 metro.**

2.4 lentelė. Atstumo matavimas kai nuotraukos plotis 2448 pikselių, objekto plotis 0,297 metro.

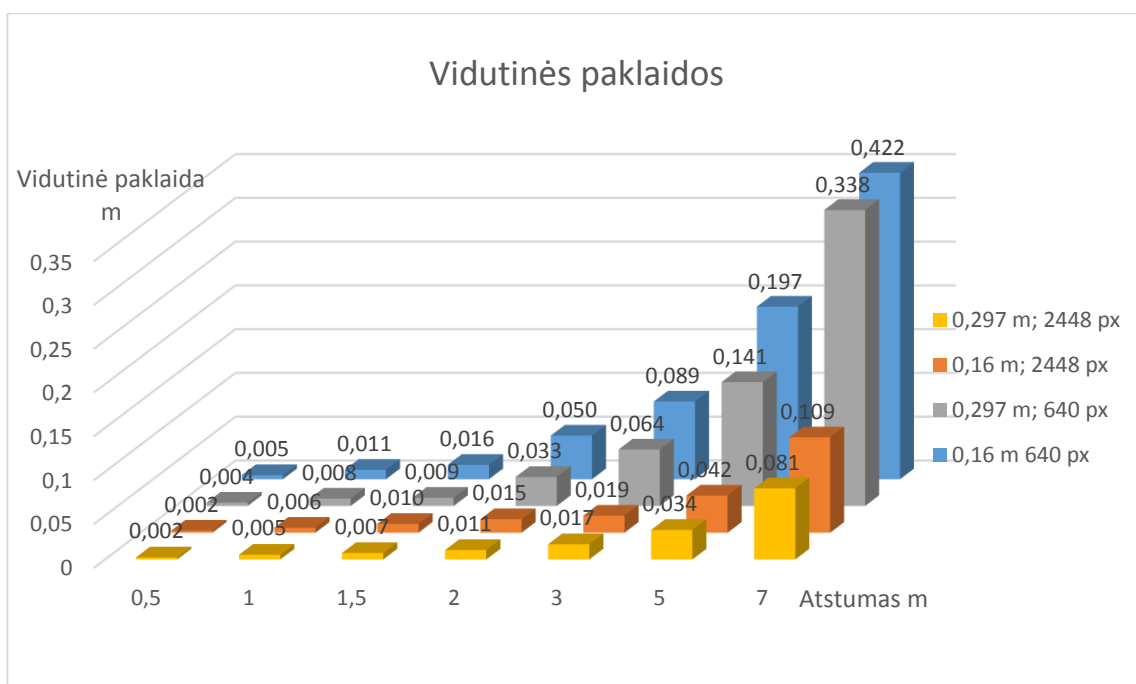
Atstumas, <i>m</i>	1 matavimas, <i>m</i> (pikseliai)	2 matavimas, <i>m</i> (pikseliai)	3 matavimas, <i>m</i> (pikseliai)
0,5 <i>m</i>	0,498 (1449,2)	0,496 (1452,5)	0,499 (1451,3)
1 <i>m</i>	1,003 (714,6)	1,007 (715,2)	1,006 (716,1)
1,5 <i>m</i>	1,510 (480,0)	1,509 (477,9)	1,497 (478,5)
2 <i>m</i>	1,999 (361,6)	1,992 (361,9)	2,014 (358,2)
3 <i>m</i>	2,970 (248,9)	2,992 (247,1)	3,014 (249,7)
5 <i>m</i>	5,042 (143,7)	4,969 (145,8)	5,028 (143,9)
7 <i>m</i>	7,075 (101,9)	6,933 (103,9)	7,101 (101,6)



2.8 Pav. Paklaidos kai rezoliucija 2448 pikselių, o objekto plotis 0,297 metro.



2.9 Pav. Procentinė paklaida kai rezoliucija 2448 pikselių, o objekto plotis 0,297 metro



2.10 Pav. Vidutinės paklaidos visais matuotais atvejais. (Legendoje objekto plotis metrais ir nuotraukos plotis pikseliais)

Pirmas matavimas: 0,16 m; 640 pikselių

Antras matavimas: 0,16 m; 2448 pikselių

Trečias matavimas: 0,297 m; 640 pikselių

Ketvirtas matavimas: 0,297 m; 2448 pikselių

Iš gautų rezultatų matome, kad didėjant matuojamam atstumui didėja ir paklaidos. Matuojant, dažnai rezultatai gaudavosi vienodi, tai yra objektas užimdavo tiek pat pikselių nuotraukoje, ar skirdavosi vienu ar dviem pikseliais. Todėl atlikti daugiau matavimų nėra būtinybės, nes rezultatai pasikartotų, ir pastebėti paklaidų tendencijas galime iš atliktų matavimų. Mažiausios paklaidos, kai objekto plotis 0,297 metro ir nuotraukos plotis pikseliais 2448. Kai atstumas 0,5 metro visais matavimo būdais paklaidos skiriasi nedaug. Nors pirmu matavimo atveju (kai objekto plotis 0,16; nuotraukos plotis 640 pikselių) ir ketvirtu (0,297 m; 2448 pikselių) paklaida skiriasi daugiau nei dvigubai, bet ji yra gan maža, ir išvados, gali būti suformuotos neteisingai, nes tokias mažas paklaidas gali lemti kameros pasukimas ar netikslus atstumo nustatymas fotografuojant. Pavyzdžiui atstumui esant 0,5 metro trečiu matavimu gautos mažesnės paklaidos, negu antru matavimo atveju, nors vėliau pastebėta, kad didėjant atstumams antras matavimo būdas tikslesnis.

Kad išsiaiškintumėm kokią įtaką daro nuotraukos skiriamoji geba matuojamam atstumui, galime lyginti pirmą matavimo atvejį su antru, ir trečią su ketvirtu, kai skiriasi tik nuotraukų skiriamoji geba ir nesiskiria objekto plotis. Atstumui esant 7 metrams, paklaida su didesne skiriamąja geba apie 4 kartus mažesnė, tiek kai objekto plotis 0,297 metro (paklaidos skirtumas 0,257 m), tiek kai 0,16 m (paklaidos skirtumas 0,313 m). Atstumui esant 5 metrams paklaida su didesne rezoliucija apie 5 kartus mažesnė, nesiskiriant objekto pločiui. Atstumui 3 metrams paklaida mažesnė apie 6 kartus. Atstumui 2 metrams apie 4 kartus. Taip yra, nes esant didesnei nuotraukos skiriamajai gebai tiksliau aptinkami objekto kraštai. Nuotraukų skiriamoji geba skiriasi beveik 4 kartus, skiriasi ne tik nuotraukos skiriamoji geba, bet ir spalvų intensyvumas ir įvairūs iškreipimai, dėl kurių objektas aptinkamas ne taip tiksliai.

Tiksliau paaiškinti paklaidų susidarymą, kai skiriasi nuotraukos skiriamoji geba, galime iš formulės, kuri naudota programoje. Tarkime objektas nuotraukoje atpažįstamas vienu pikseliu netiksliai, kai atstumas iki objekto 2 metrai. Pirmu matavimo atveju paklaida susidaranti dėl vienu pikseliu netiksliai atpažinto objekto yra 0,039 metro (į formulę įstačius atpažinto objekto plotį: 50 pikselių, vėliau 51 pikselį, ir apskaičiavus gautų rezultatų skirtumą). Antru matavimo atveju, kai nuotraukos skiriamoji geba 2448 pikseliai, paklaida susidaranti dėl vienu pikseliu netiksliai atpažinto objekto yra 0,011 (194 ir 195 pikseliai). Matome, kad objekto dydžiui ir atstumui iki objekto esant tokiems pat, paklaida skiriasi beveik 4 kartus.



Trečio ir ketvirto matavimo (kai skiriasi tik nuotraukos skiriamoji geba) atvejais iš formulės apskaičiuotos paklaidos, susidarančios dėl netiksliai atpažinto objekto vienu pikseliu, kai atstumas iki objekto 2 metrai, yra: 0,021 ir 0,006 metro. Paklaida taip pat skiriasi beveik 4 kartus. Prie visų atstumų paklaidos susidaro beveik 4 kartus mažesnės, dėl netiksliai objektą atpažinus vienu laipsniu, kai nuotraukos skiriamoji geba didesnė. Todėl galime padaryti išvadą, kad kiek kartų didesnė nuotraukos skiriamoji geba, tiek kartų ir paklaidos turėtų būti mažesnės. Tyrime gavome, kad paklaidos didesnės nei 4 kartus, kai skiriasi tik nuotraukos skiriamoji geba (išskyrus kai maži atstumai iki objekto). Taip yra todėl, kad objektas atpažįstamas didesne, nei vieno pikselio paklaida, ir dėl nuotraukų spalvų ar kitų iškreipimų, kurie didesni kameroje su mažesne rezoliucija.

Išsiaiškinti kaip matavimų tikslumą įtakoja objekto dydis, lyginame pirmą su trečiu ir antrą su ketvirtu matavimo atvejais. Tyrime objektų plotis skyrėsi 1,86 karto, paklaidos skyrėsi apie 1,5 karto. Matome, kad kai objektas didesnis paklaidos mažesnės. Didėjant matuojamiems atstumams paklaidų skirtumai, kai skiriasi objekto plotis, išlieka proporcingi. Galime padaryti išvadą, kuo didesnis objektas (šiuo atveju objekto plotis) tuo mažesnės paklaidos. Nes mažesni objektą atpažinus netiksliai, paklaida tarsi įvedama daugiau kartų, kaip matome iš 19 formulės.

### **Paklaidos dėl pasisukimo kampo su objektu**

Visi anksčiau eksperimentai atlikti, kai vaizdo ir objekto kampas  $90^\circ$ , todėl pasisukimo kampas nedarė įtakos matavimo rezultatams.

2.5 lentelė. Paklaida kai atstumas 1,5 metro prie skirtingų pasisukimų, skliausteliuose procentinė paklaida

Kampas, $^\circ$	1 matavimas, $m$ (%)	2 matavimas, $m$ (%)	3 matavimas, $m$ (%)
$60^\circ$	0,161 (10,6)	0,152 (10,0)	0,161 (10,6)
$45^\circ$	0,501 (33,4)	0,507 (33,8)	0,506 (33,7)
$30^\circ$	1,401 (93,4)	1,412 (94,1)	1,406 (93,7)

Iš lentelės duomenų matome, kad didėjant objekto su vaizdu kampams, tai yra objektas vaizde vis labiau pasisukęs, tuomet didėja paklaidos. Kampui esant  $45^\circ$  ar  $30^\circ$  matavimai tampa labai netikslūs ir neadekvatūs. Todėl norint matuoti, kai objektas nėra statmenas su vaizdu, būtina

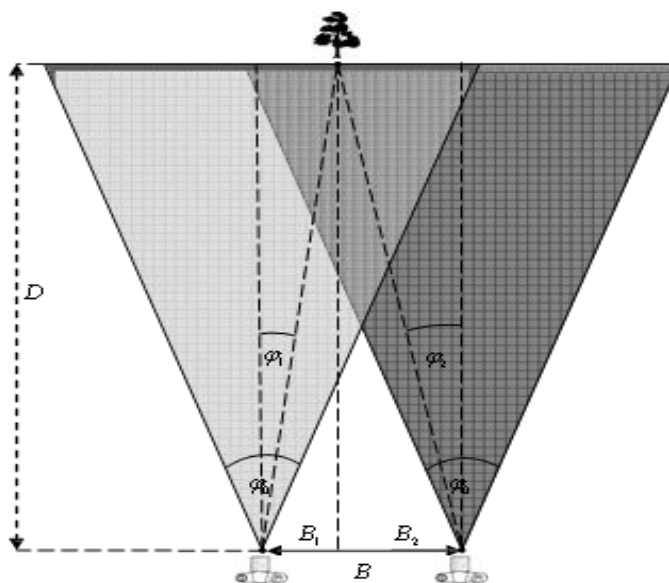
atsižvelgti į kampą skaičiuojant atstumą. Kampui skiriantis keliems laipsniams nuo  $90^\circ$  į tai galima neatsižvelgti, nes paklaida atsirandanti dėl pasisukimo kampo labai maža.

## 2.2 Atstumo matavimas su dviem nuotraukomis

Naudojamos dvi vieno lęšio kameros, kurios yra horizontaliai sulygiuotos, atstumas iki objekto apskaičiuojamas remiantis objekto pozicijų skirtumu, kamerų atžvilgiu. Tokia sistema primena žmogaus akis. Tyrime tikslumui iširti matuojami penki skirtingi atstumai iki objekto, su skirtingais atstumais tarp kamerų. Panaudotos dvi identiškios kameros, kurios pritvirtinamos prie vieno pagrindo, kad būtų vienodai sulygiuotos.

### 2.2.1 Apskaičiavimo principas

Apskaičiavimas paremtas 2.11 paveikslu, iš kurio matome, kad žinant atstumą tarp kamerų  $B_1$  ir  $B_2$ , kampus  $\varphi_1$  ir  $\varphi_2$ , atstumą  $D$  galime apskaičiuoti pritaikius trigonometrines formules.



2.11 Pav. Atstumo apskaičiavimo iki objekto su dviem kameromis schema.[4]

$$D = \frac{B}{(\tan \varphi_1 + \tan \varphi_2)} \quad (20)$$

$B$  – Atstumas tarp kamerų

$D$  – Apskaičiuotas atstumas

Kampus  $\varphi_1$  ir  $\varphi_2$  apskaičiuoti galime iš gautų nuotraukų. Tik reikia žinoti kameros horizontalų matymo kampą, horizontalų pikselių skaičių nuotraukoje ir objekto vietą nuotraukoje.

$$\frac{x_1}{\frac{x_0}{2}} = \frac{\tan \varphi_1}{\tan(\frac{\varphi_0}{2})} \quad (21)$$

$\varphi_0$  – Kamerų matymo kampas

$X_0$  – Nuotraukos plotis pikseliais

$X_1$  – Kairės nuotraukos atpažinto objekto vieta nuotraukoje pikseliais

$$\frac{x_2}{\frac{x_0}{2}} = \frac{\tan \varphi_2}{\tan(\frac{\varphi_0}{2})} \quad (22)$$

$X_2$  – Dešinės nuotraukos atpažinto objekto vieta nuotraukoje pikseliais

Vietoj kampų  $\varphi_1$  ir  $\varphi_2$  į 15 formulę įstatę jų išraiškas iš 16 ir 17 formulės gauname:

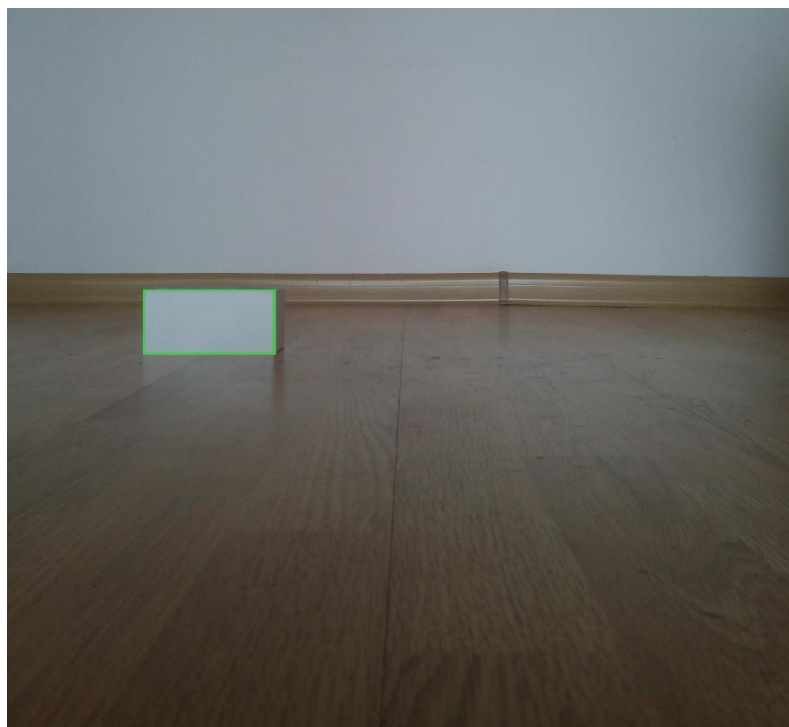
$$D = \frac{Bx_0}{2 \tan(\frac{\varphi_0}{2}) * (x_2 - x_1)} \quad (23)$$

Panaudotos dvi vienodos kameros: Logitech PN 960. Skiriamoji geba 1024 x 768 pikseliai. Kamerų horizontalus matymo kampas 52 °.

### 2.2.2 Programa

Programa panaši kaip aprašyta 2.1.2 skyriuje. Nuotraukose pašalinami iškraipymai su *cv2.undistort* funkcija. Aptinkamas objektas pirmoje nuotraukoje, apskaičiuojamas objekto pozicija nuotraukoje (objekto horizontali vidurio pozicija), tuomet aptinkamas tas pats objektas antroje nuotraukoje ir apskaičiuojama jo pozicija. Paprastai objektai pirmoje nuotraukoje parenkami, o antroje programa jų „suranda“. Šiuo atveju, kad būtų paprasčiau, abiejuose nuotraukose aptinkami didžiausi stačiakampiai, kurie ir yra objektas iki kurio skaičiuojame

atstumą. Stačiakampių vidurio pozicija bus  $x_1$  ir  $x_2$ , kuriuos įstatome į formulę ir taip apskaičiuojamas atstumas.



2.12 Pav. Dešinės nuotraukos vaizdas (apibrėžtas aptiktas objektas)

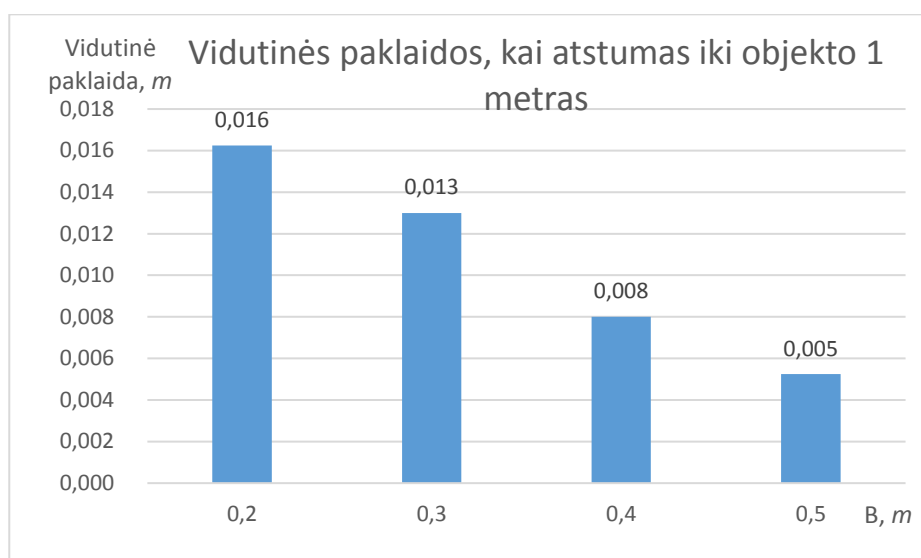


2.13 Pav. Kairės nuotraukos vaizdas (apibrėžtas aptiktas objektas)

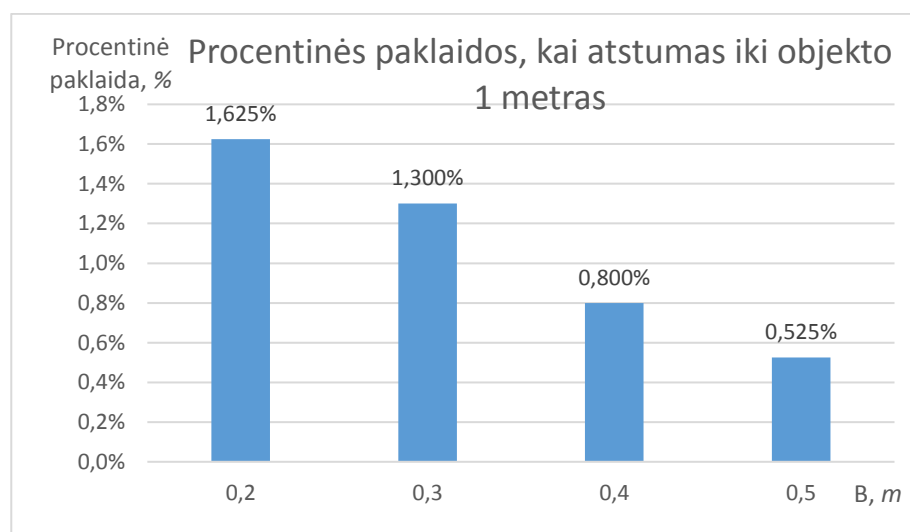
### 2.2.3 Rezultatai

2.6 lentelē. Gauti rezultatai, kai atstumas iki objekto 1 metras.

B, m	1 matavimas, m	2 matavimas, m	3 matavimas, m	4 matavimas, m
0,2	1,021	1,014	1,027	0,997
0,3	1,012	0,996	1,018	1,018
0,4	1,007	1,009	0,998	1,014
0,5	1,001	0,998	0,993	1,011



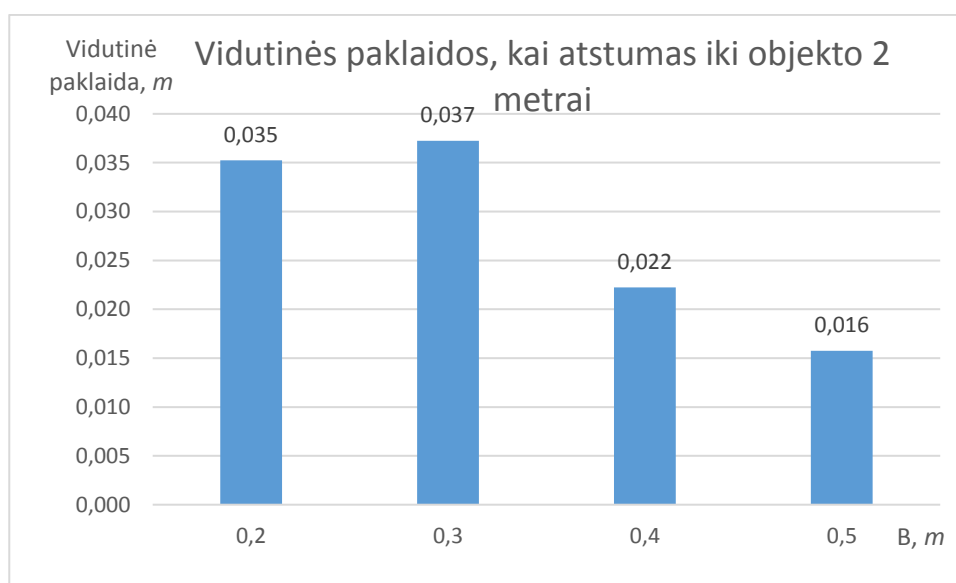
2.14 Pav. Vidutinės matavimo paklaidos, kai atstumas iki objekto 1 metras.



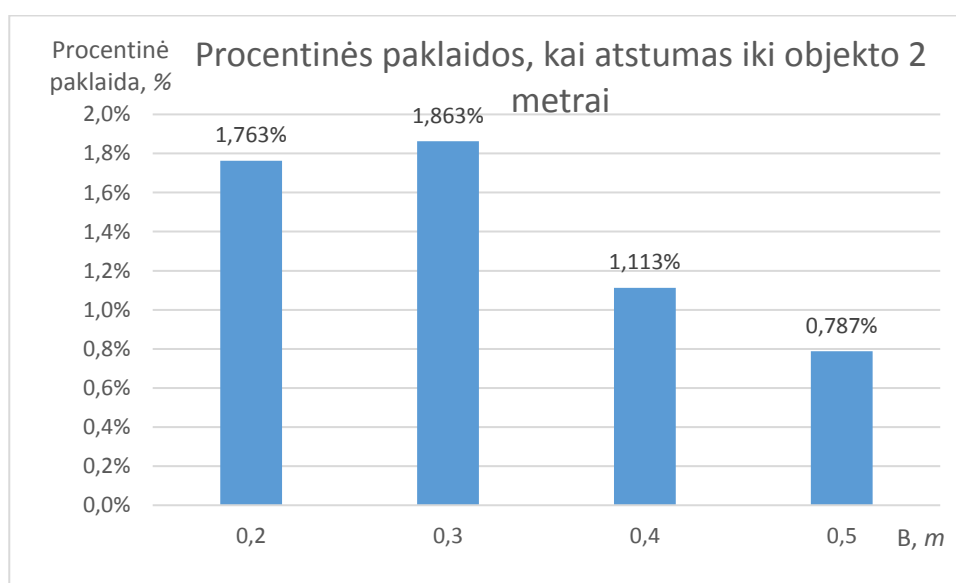
2.15 Pav. Procentinės matavimų paklaidos, kai atstumas iki objekto 1 metras.

2.7 lentelė. Gauti rezultatai, kai atstumas iki objekto 2 metrai.

B, m	1 matavimas, m	2 matavimas, m	3 matavimas, m	4 matavimas, m
0,2	2,064	2,028	1,987	2,036
0,3	1,973	2,027	1,967	2,062
0,4	2,028	2,042	1,989	1,992
0,5	1,980	2,017	2,007	1,981



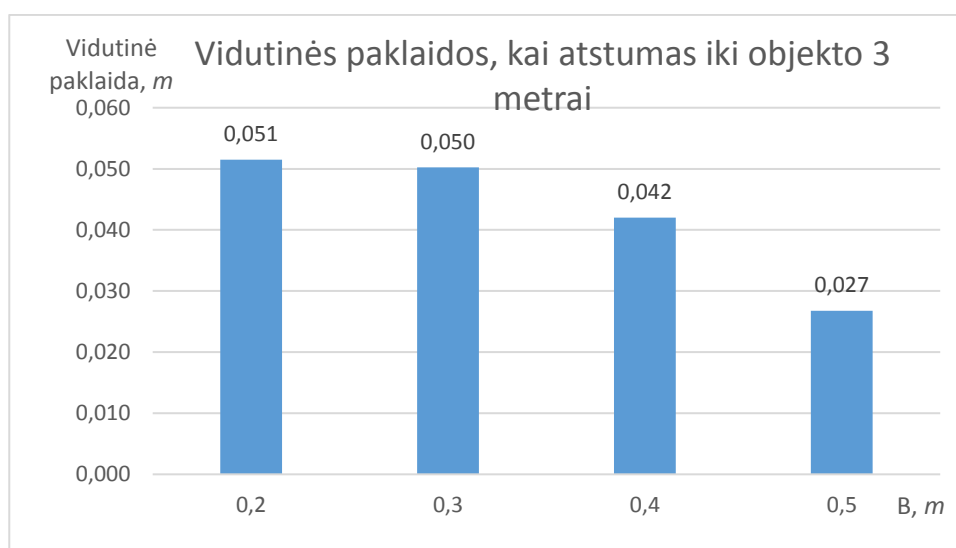
2.16 pav. Vidutinės matavimo paklaidos, kai atstumas iki objekto 2 metrai.



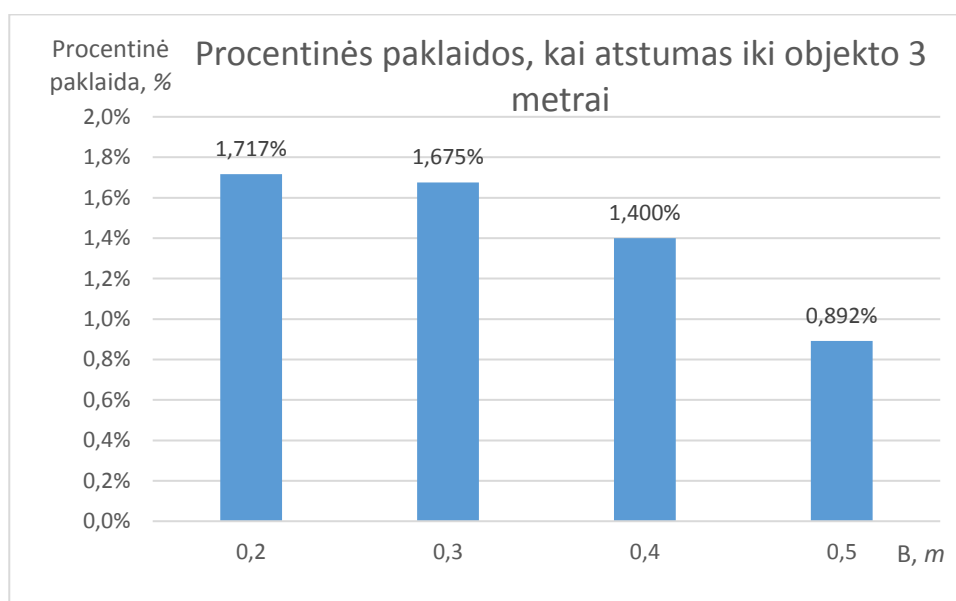
2.17 Pav. Procentinės matavimų paklaidos, kai atstumas iki objekto 2 metrai.

2.8 lentelė. Gauti rezultatai, kai atstumas iki objekto 3 metrai.

B, m	1 matavimas, m	2 matavimas, m	3 matavimas, m	4 matavimas, m
0,2	3,022	3,042	2,964	2,974
0,3	3,079	2,982	3,088	3,066
0,4	3,052	3,014	2,944	2,954
0,5	3,016	2,991	3,061	3,021



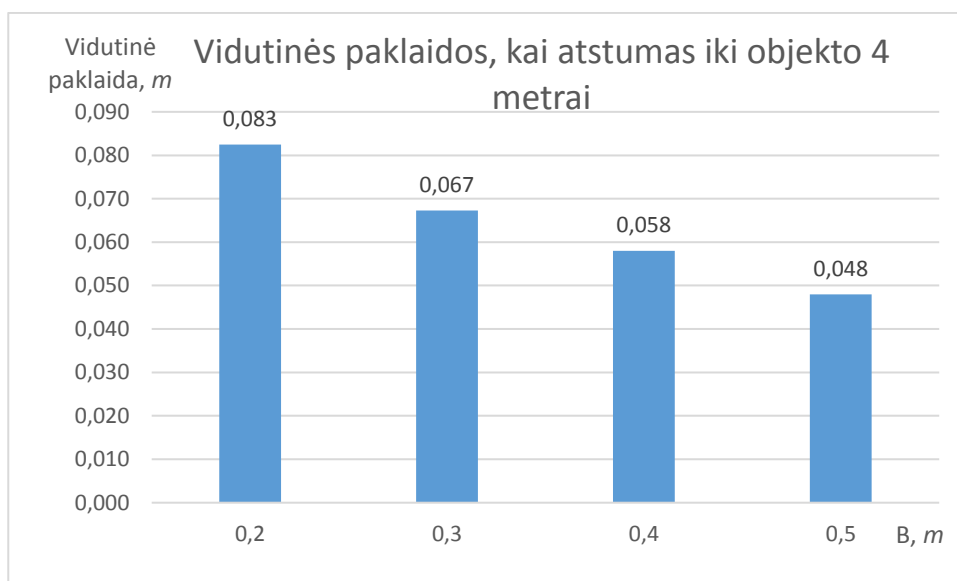
2.18 pav. Vidutinės matavimo paklaidos, kai atstumas iki objekto 3 metrai.



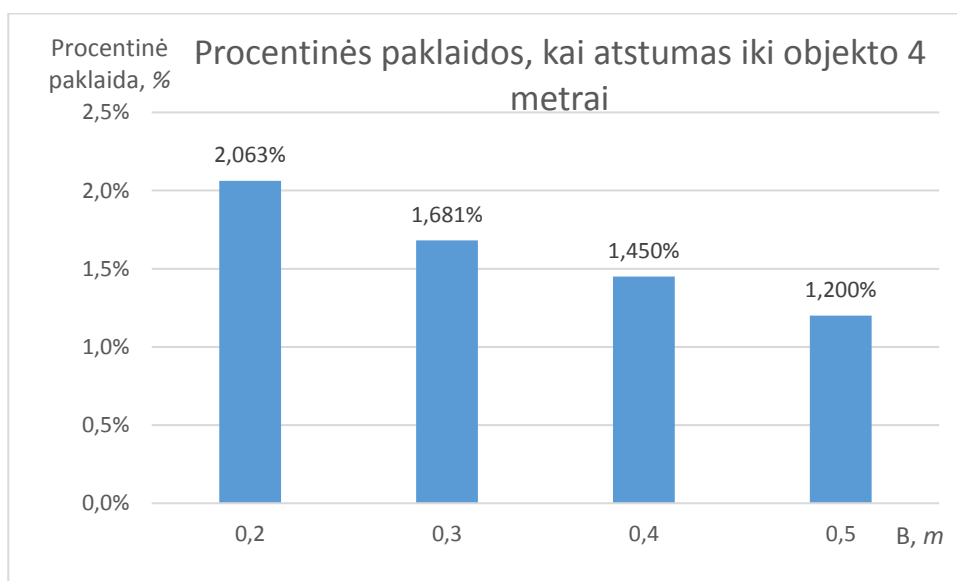
2.19 Pav. Procentinės matavimų paklaidos, kai atstumas iki objekto 3 metrai.

2.9 lentelė. Gauti rezultatai, kai atstumas iki objekto 4 metrai.

B, m	1 matavimas, m	2 matavimas, m	3 matavimas, m	4 matavimas, m
0,2	4,102	4,078	3,948	4,098
0,3	4,092	4,044	3,938	4,071
0,4	4,037	3,923	4,076	4,042
0,5	4,053	3,961	3,943	3,957



2.20 Pav. Vidutinės matavimo paklaidos, kai atstumas iki objekto 4 metrai.

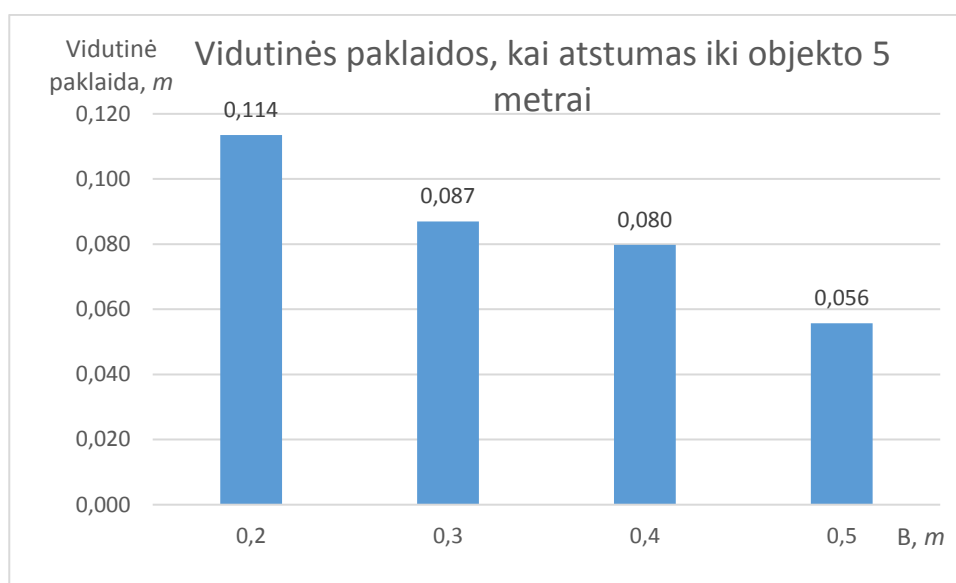


2.21 Pav. Procentinės matavimų paklaidos, kai atstumas iki objekto 4 metrai.

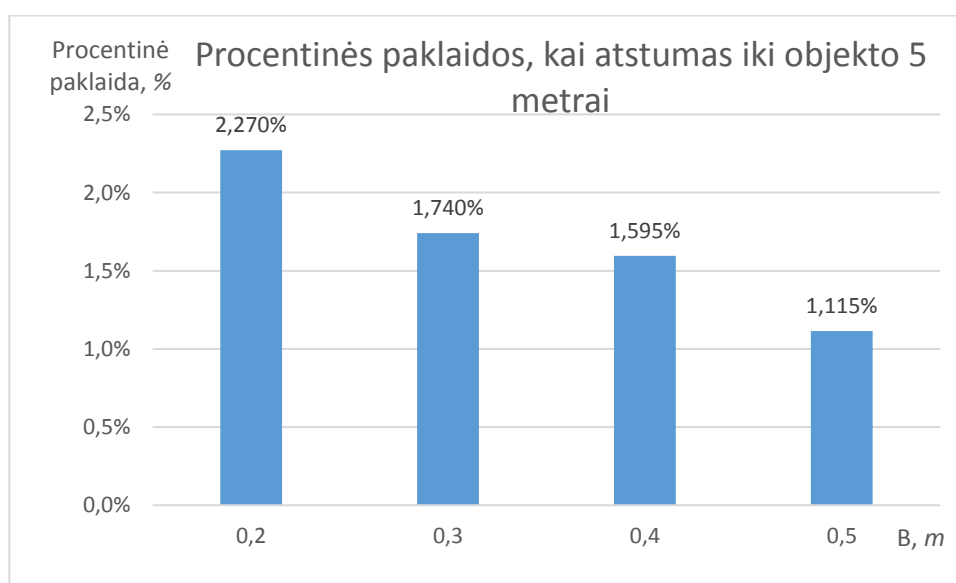


2.10 lentelė. Gauti rezultatai, kai atstumas iki objekto 5 metrai.

B, m	1 matavimas, m	2 matavimas, m	3 matavimas, m	4 matavimas, m
0,2	4,901	5,122	5,094	5,099
0,3	4,912	5,086	5,047	5,127
0,4	5,077	5,066	4,909	4,978
0,5	5,014	4,932	5,068	4,947



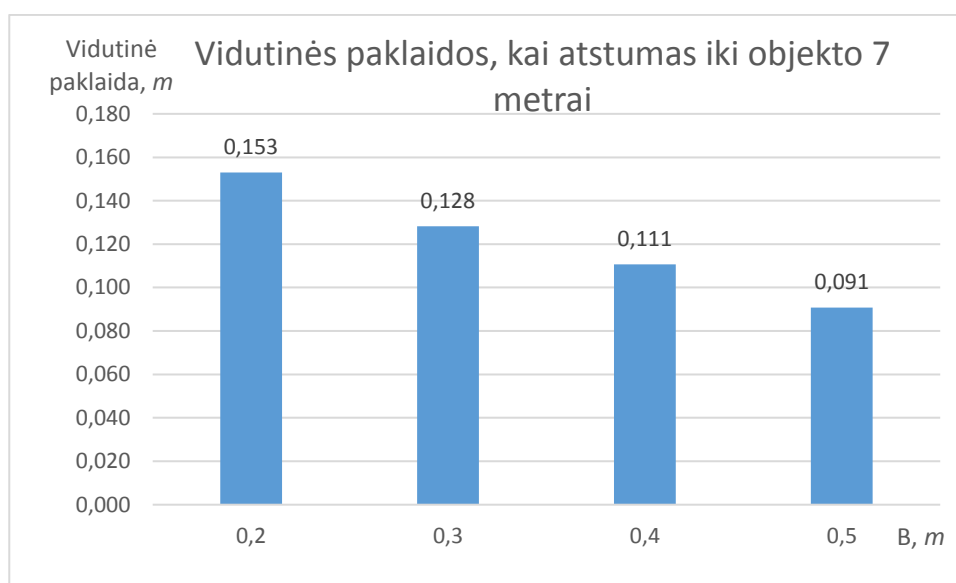
2.22 Pav. Vidutinės matavimo paklaidos, kai atstumas iki objekto 5 metrai.



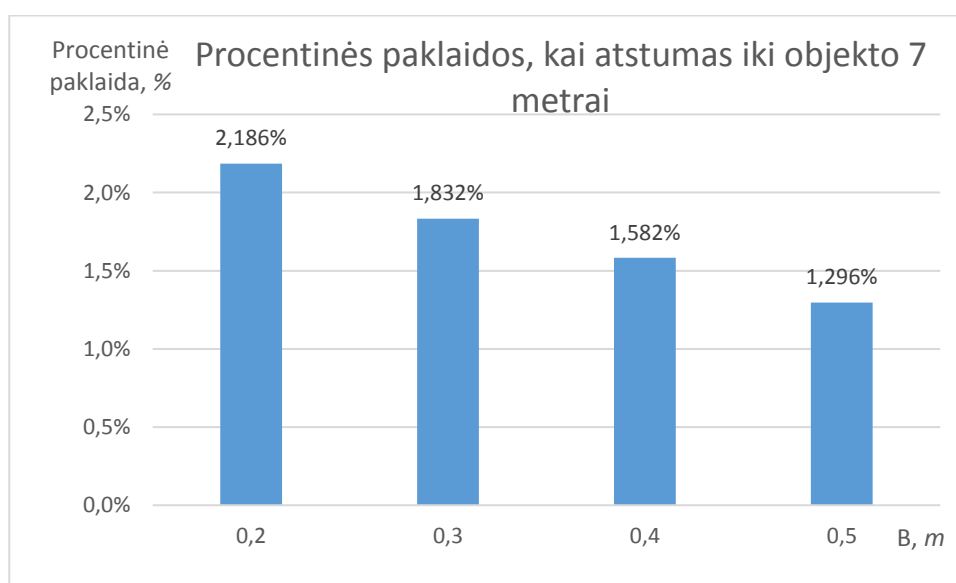
2.23 Pav. Procentinės matavimų paklaidos, kai atstumas iki objekto 5 metrai.

2.11 lentelē. Gauti rezultāti, kai atstumas iki objekto 7 metrai.

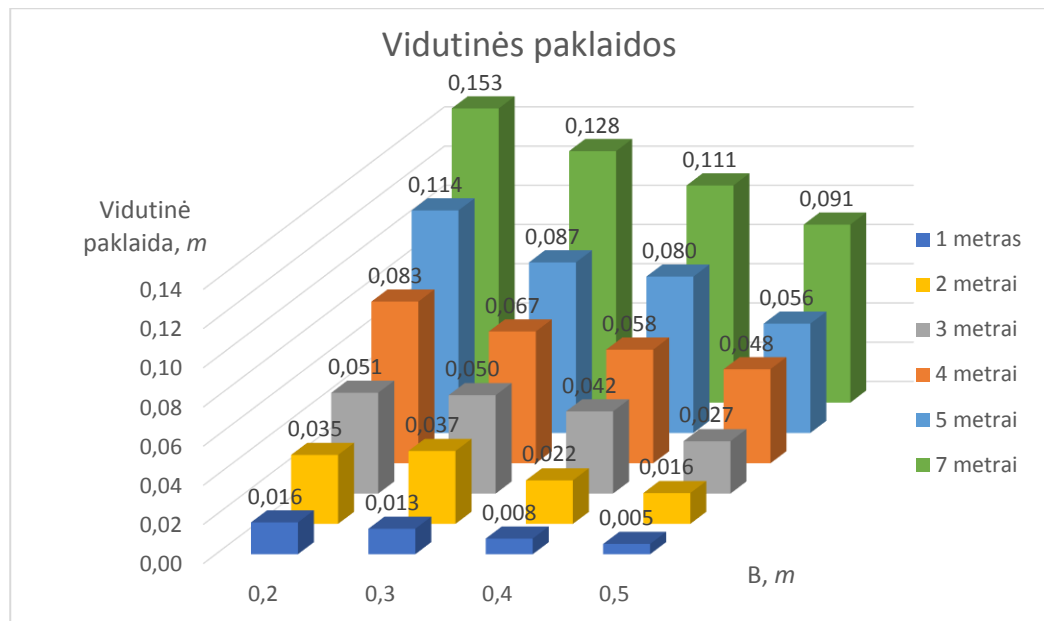
B, m	1 matavimas, m	2 matavimas, m	3 matavimas, m	4 matavimas, m
0,2	7,118	7,249	6,892	6,923
0,3	7,214	6,877	6,942	7,078
0,4	6,903	6,881	6,862	7,089
0,5	6,874	6,921	7,048	6,890



2.24 Pav. Vidutinės matavimo paklaidos, kai atstumas iki objekto 7 metrai.



2.25 Pav. Procentinės matavimų paklaidos, kai atstumas iki objekto 7 metrai.

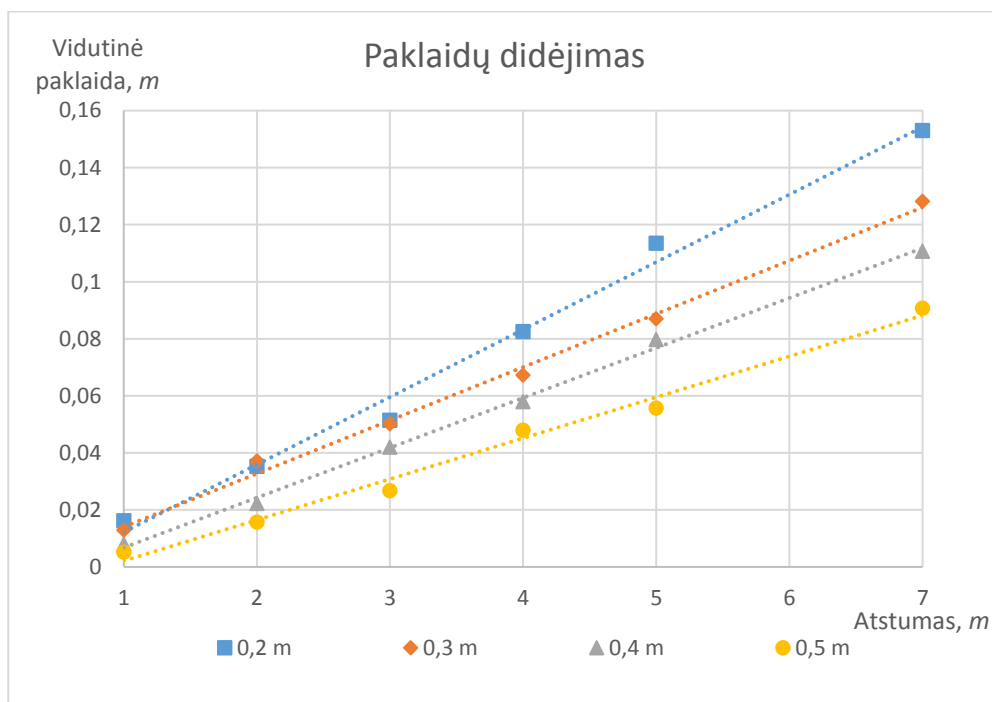


2.26 Pav. Vidutinės paklaidos.

Iš 2.26 paveikslo matome, kad didėjant atstumui tarp kamerų mažėja paklaidos. Tiksliau paaiškinti paklaidų susidarymo mažėjimą, kai didėja atstumas tarp kamerų galime iš programoje naudojamos formulės. Tarkime, dešinėje nuotraukoje, objektas atpažįstamas vienu pikseliu netiksliai, kai atstumas iki matuojamo objekto 2 metrai ir atstumas tarp kamerų 0,2 metro. Tuomet paklaida susidariusi dėl vienu pikseliu netiksliai atpažinto objekto yra 0,0061 metro. Jeigu atstumas iki objekto toks pat – 2 metrai, o atstumas tarp kamerų 0,5 metro, tai paklaida susidariusi dėl vienu pikseliu netiksliai atpažinto objekto yra 0,0029 metro. Matome, kad paklaida skiriasi šiek tiek daugiau nei 2 kartus. Panašūs rezultatai gauti ir tyrime, atstumui tarp kamerų esant 0,2 ir 0,5 paklaidos skiriasi apie 2 kartus. Paklaidos mažėja netolygiai didėjant atstumui tarp kamerų. Iš teorinių apskaičiavimų gavome, kad paklaida susidaranti dėl vienu pikseliu netiksliai atpažinto objekto, kai atstumas tarp kamerų 0,2 ir 0,3 sumažėjo labiau, negu kamerų atstumams esant 0,4 ir 0,5. Tai reiškia, kad didėjant atstumui tarp kamerų paklaidos mažėja su vis mažesniu intensyvumu. Tyrime gautuose rezultatuose, nevisuose atvejuose, didėjant atstumui tarp kamerų paklaidos mažėjo vis su mažesniu intensyvumu. Bet galime pastebėti tokį dėsningumą, ypač kai atstumai iki objekto didesni. Tyrime gautų paklaidų dydžiai ir teoriškai apskaičiuoti, kai objektas atpažįstamas vienu pikseliu netiksliai, skiriasi 5 ir daugiau kartų. Paklaidos daug didesnės, nes objektas aptinkamas su mažesniu tikslumu nei vienas pikselis, dėl įvairių triukšmų nuotraukose, netikslaus kamerų sulgiavimo ir kitų priežasčių.

Didėjant matuojamam atstumui iki objekto didėja ir paklaidos. Paklaidos didėja tolygiai, kaip matome 2.27 paveiksle. Su didesniu atstumu tarp kamerų, didėjant matuojamam atstumui,

paklaidos didėja mažiau. Atstumui tarp kamerų esant 0,2 metro vidutinė paklaida padidėja 2,28 centimetrais, padidėjus matuojamam atstumui vienu metru. Atstumui tarp kamerų esant 0,3 metro vidutinė paklaida padidėja apie 1,92 centimetro, padidėjus matuojamam atstumui vienu metru. Atstumui tarp kamerų esant 0,4 metro, vidutinė paklaida padidėja apie 1,71 centimetro. Atstumui tarp kamerų esant 0,5 metro, vidutinė paklaida padidėja apie 1,43 centimetro. Paklaidos turėtų ir toliau didėti panašiais dydžiais, didėjant atstumui.



2.27 Pav. Vidutinių paklaidų didėjimas didėjant atstumui iki objekto.

### 2.3 Matavimas panaudojant kameros aukštį ir pasukimo kampą.

Matavimui buvo panaudotas išmanusis telefonas, kuriuo galima matuoti pasisukimo kampą ir programėlė atsisiūsta iš interneto, kuri šiek tiek pakoreguota „Android Studio“ programa. Telefono ekrano viduryje yra horizontali juosta, kurią reikia nukreipti į objekto ir žemės susikirtimo vietą, tuomet telefono jutikliai išmatuoja pakreipimo kampą ir apskaičiuoja atstumą iki objekto. Didžiausias matavimo sistemos minusas, kad reikia žinoti aukštį, kuriame yra kamera. Taip pat pasukant kamerą reikia nepakeisti jos aukščio. Todėl geriausia kamerą įtvirtinti taip, kad galėtumėme keisti tik jos pasisukimo kampą, bet nepasikeistų aukštis virs žemės.

Matuojant atstumą iki objekto reikia atsižvelgti ir į tai, ar objektas ir kamera yra tame pačiame lygyje ir skaičiuojant kompensuoti, tai yra pridėti arba atimti lygio skirtumą iš kameros aukščio.

Nors matavimo būdas turi daug minusų, tačiau yra labai paprastas, atstumas apskaičiuojamas panaudojant elementarias trigonometrines formules.

$$AB = A'A * \tan \theta \quad (24)$$

### 2.3.1 Matavimo rezultatai.

Atlikti matavimai esant penkiems skirtingiems atstumams iki objekto (0,5; 1; 2; 3; 5 metrų). Iš formulės matome, kad objekto dydis ar kitos savybės neturėtų daryti įtakos matavimo tikslumui, bet kai objektas mažesnis sunku horizontalią liniją tiksliai nukreipti į objekto ir žemės susikirtimo tiesią. Todėl pasirinkta, kad atstumas matuojamas iki sienos. Buvo pasirinkti trys skirtingi kameros aukščiai: 0,5; 1,2; 2 metrai. Prie kiekvieno atstumo atlikti penki matavimai.

2.12 lentelė. Kai kameros aukštis  $h = 0,5$  m

Atstumas, $m$	1 matavimas, $m$	2 matavimas, $m$	3 matavimas, $m$	4 matavimas, $m$	5 matavimas, $m$
0,5	0,482	0,514	0,519	0,522	0,481
1	1,040	1,011	1,037	0,952	1,066
2	2,080	2,197	1,910	2,242	1,821
3	3,461	2,812	2,913	3,521	3,371
5	5,426	4,186	6,114	5,913	6,172

2.12 lentelė. Kai kameros aukštis  $h = 1,2$  m

Atstumas, $m$	1 matavimas, $m$	2 matavimas, $m$	3 matavimas, $m$	4 matavimas, $m$	5 matavimas, $m$
0,5	0,476	0,472	0,517	0,477	0,529
1	1,007	1,042	0,982	0,960	0,978
2	2,114	2,003	1,903	2,117	2,061
3	3,182	2,963	2,811	3,261	2,811
5	5,712	5,440	4,921	4,716	4,821

2.13 lentelė. Kai kameros aukštis  $h = 2$  m

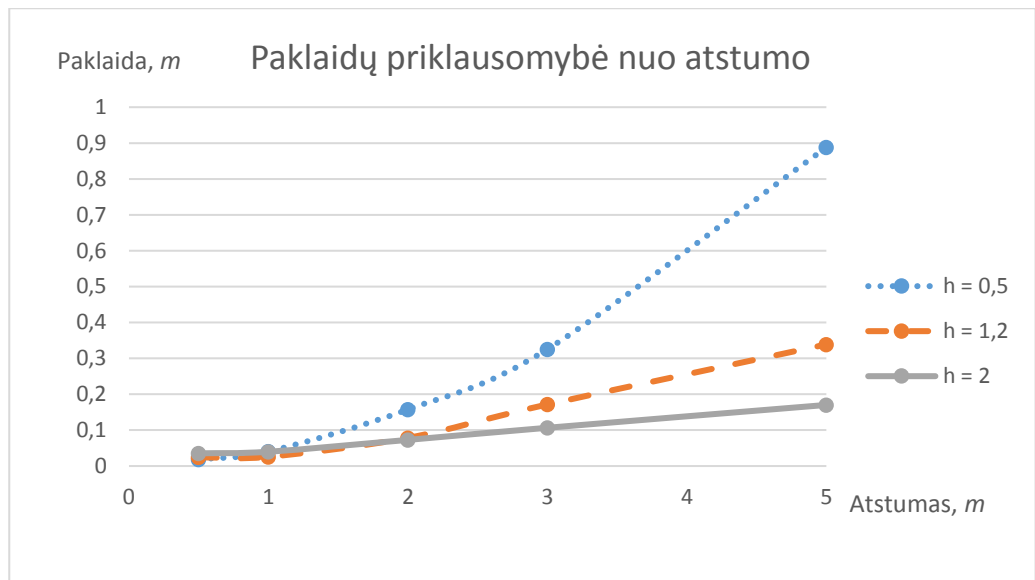
Atstumas, $m$	1 matavimas, $m$	2 matavimas, $m$	3 matavimas, $m$	4 matavimas, $m$	5 matavimas, $m$
0,5	0,536	0,481	0,547	0,544	0,469
1	0,962	1,058	0,961	1,009	1,055
2	2,012	2,142	1,970	1,911	2,091
3	3,101	2,861	2,971	3,117	3,147
5	5,136	5,217	4,712	4,881	5,091

2.11; 2.12; 2.13 lentelėse pateikti matavimai, kai kamera yra skirtinguose aukščiuose, toliau apskaičiuojami paklaidų vidurkiai – 2.14 lentelėje.

2.14 lentelė. Vidutinės paklaidos.

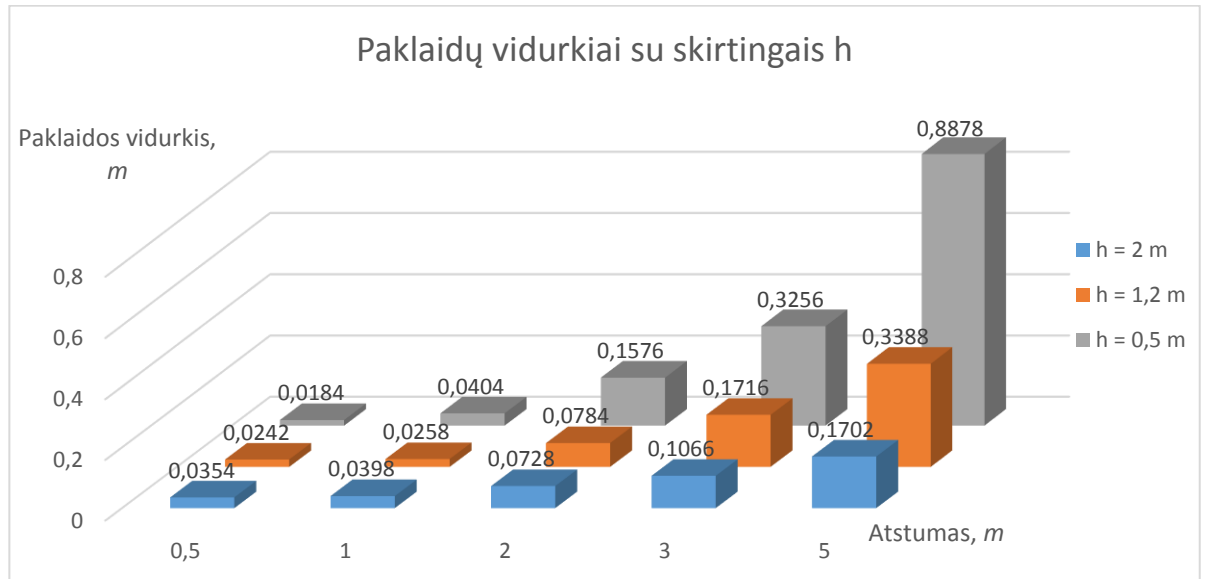
Atstumas, $m$	$h = 0,5$ m	$h = 1,2$ m	$h = 2$ m
0,5	0,0184	0,0242	0,0354
1	0,0404	0,0258	0,0398
2	0,1576	0,0784	0,0728
3	0,3256	0,1716	0,1066
5	0,8878	0,3388	0,1702

Iš lentelių duomenų matome, didėjant atstumui didėja ir paklaidos. Atstumui iki objekto esant 0,5 metro mažiausios paklaidos yra tada, kai kamera 0,5 metro aukštyje. Bet didėjant atstumui ir kamerei esant 0,5 metro aukštyje paklaidos didėja labiausiai, o kai aukštis 2 metrai paklaidos didėja mažiausiai. Galime padaryti išvadą, kad kuo didesniame aukštyje kamera, tuo mažiau didėja paklaidos didėjant atstumui. Bet prie mažų atstumų (šiuo atveju 0,5 metro) tiksliau matuojama, kai kamera yra žemiau.



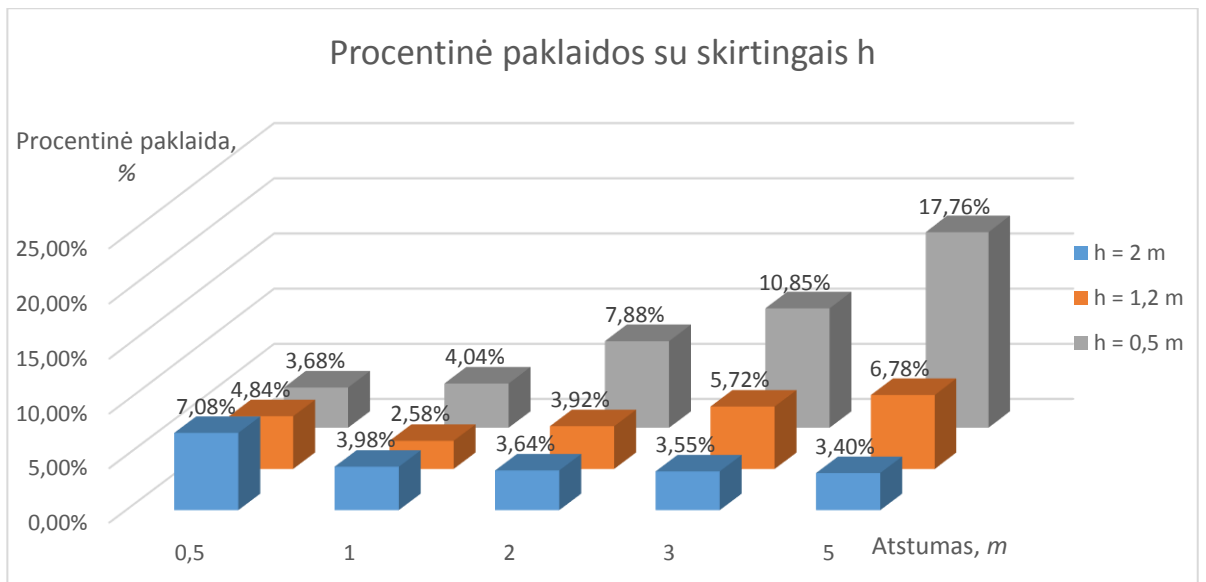
2.28 Pav. Tyrime išmatuotų atstumų ir vidutinių paklaidų priklausomybė, kai kamera skirtinguose aukščiuose.

Iš 2.28 ir 2.29 grafikų matome, kaip didėja paklaidos didėjant matuojamam atstumui.



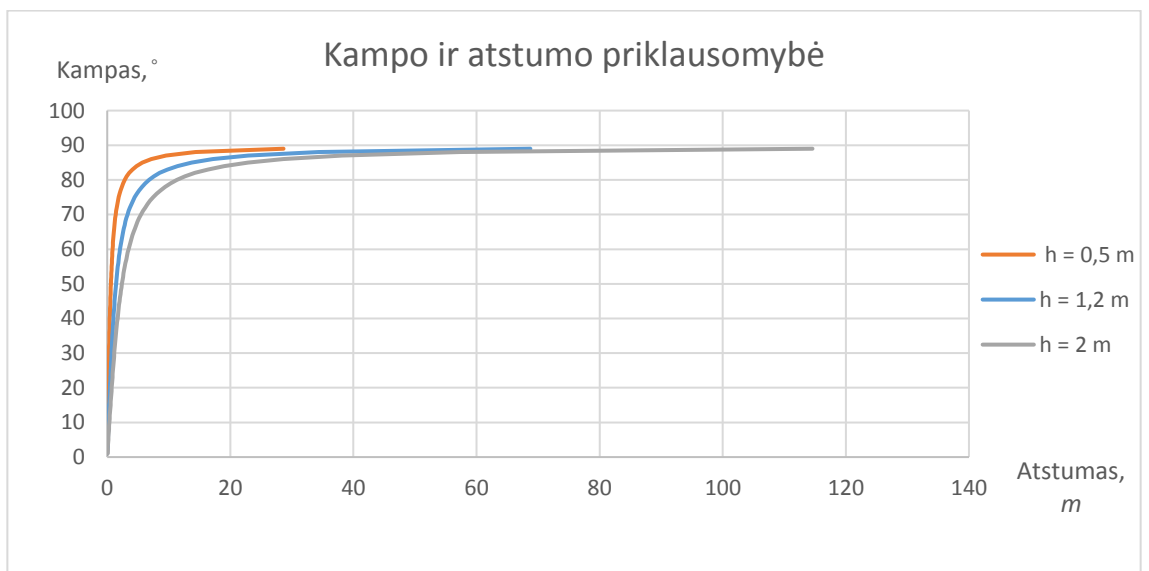
2.29 Pav. Vidutinės paklaidos esant skirtingiems kameros aukščiams.

Gautus rezultatus galime paaiškinti 2.31 ir 2.32 grafikais, kurie sudaryti iš teorinių apskaičiavimų. Rezultatai gauti matuojant labai panašūs į teoriškai apskaičiuotus, kurie susidaro dėl netinkamo kampo nustatymo.



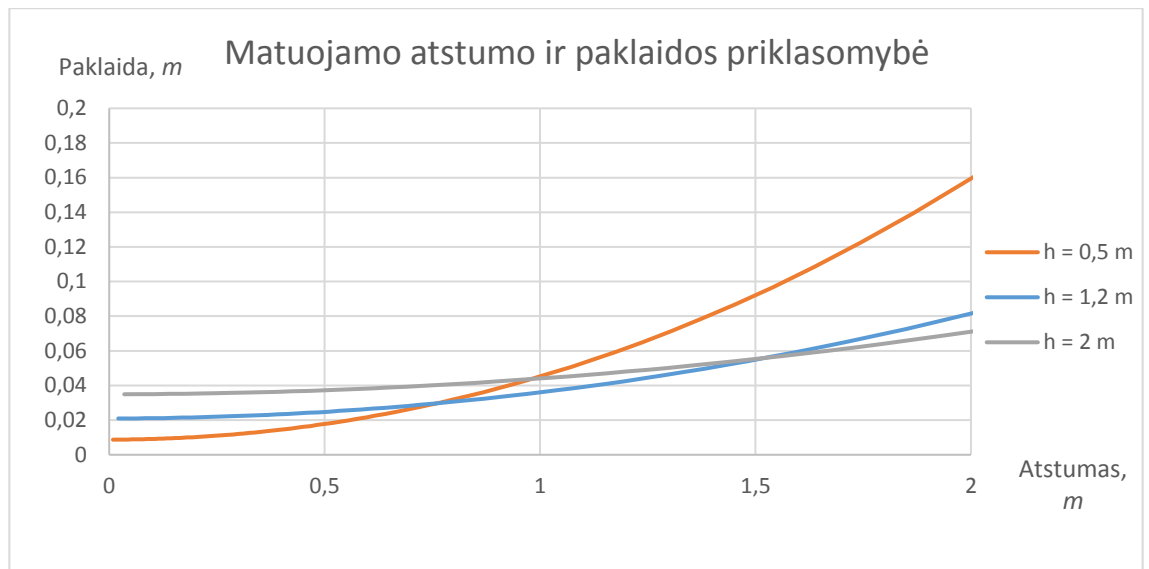
### 2.30 Procentinės paklaidos su skirtingais kameros aukščiais.

Matome, kad kameros aukščiui esant 0,5 metro procentinė paklaida didėja sparčiausiai. Kai kameros aukštis 2 metrai, procentinė paklaida net mažėja, nors didėjant atstumui paklaida mažėja ne taip žymiai, todėl galime daryti prielaidą, kad dar labiau išaugus atstumui, procentinė paklaida pradėtų didėti.



2.31 Pav. kampo ir atstumo priklausomybė esant skirtingam aukščiui, pagal teorinius apskaičiavimus – idealiu atveju, kai nėra paklaidų.





2.32 Pav. Matuojamo atstumo paklaidos susidaranti dėl neteisingai nustatomo kampo vienu laipsniu.

2.32 grafikas skirtas parodyti paklaidų dydžius, kai prie teoriškai apskaičiuotų kampų ir atstumų pridėdame vieną laipsnį, kad susidarytų paklaida. Tai atspindi paklaidą, kuri susidaro matuojant, dėl netikslaus kampo nustatymo, kai kameros centras nukreipiamas ne tiesiai į objekto ir žemės susikirtimo tiesę. Iš paveikslo matome, kad didėjant matuojamam atstumui paklaidos didėja eksponentiškai, tai sutampa su tyrimu atliktais matavimais. Maksimalus matuojamas atstumas, kai  $h = 0,5$  metro yra 28,68 metrų, kai  $h = 1,2$  metro yra 68,75 metrų, kai  $h = 2$  metrai yra 114,68 metrų (kampas visais atvejais bus  $89^\circ$ ), bet prie tokių kampų matavimai yra labai netikslūs.

Matavimo rezultatus - kuo objektas toliau, tuo tikslumas mažesnis, galime paaiškinti iš pirmos formulės. Esant kamerai 1,2 metro aukštyje ir atstumui iki objekto vienam metrui, kamerai pasisukus vienu laipsniu (nuo  $30^\circ$  iki  $31^\circ$ ), apskaičiuotas atstumas pasikeičia 0,029 metro. Esant atstumui 5 metrams, ir kamerai pasisukus vienu laipsniu (nuo  $76^\circ$  iki  $77^\circ$ ), apskaičiuotas atstumas pasikeičia 0,385 metro, paklaidos dėl netikslaus kampo išauga daugiau nei 10 kartų. Todėl matuojant atstumą, kampo nustatymo paklaida išlieka panaši, bet atstumo paklaida labai išauga. Taip pat kuo didesnis aukštis  $h$  tuo didesnę atstumą galima išmatuoti, ir tuo rezultatai tikslesni.

## Išvados ir rezultatai

1. Išanalizuoti dažniausiai naudojami matavimo būdai, naudojantys vaizdo medžiagą.
2. Atlikti atstumo matavimai trimis skirtingais būdais, analizuota kokią įtaką matavimo tikslumui daro vaizdo skiriamoji geba, objekto dydis, kamerų pozicijos žemės ir viena kitos atžvilgiu, pasisukimo kampai.
3. Iš tyrimo, kur atstumas matuojamas panaudojant objekto plotį, tiksliausi matavimai gavosi, kai nuotraukų skiriamoji geba didesnė ir aptinkamo objekto plotis didesnis. Išsiaiškinta, kad kiek kartų padidėja nuotraukos skiriamoji geba, maždaug tiek kartų sumažėja paklaidos. Didėjant atstumui iki matuojamo objekto didėja ir absoliutinė paklaida, ir absoliutinė procentinė paklaida. Didėjant objekto pasisukimui vaizde paklaidos labai išauga ir rezultatai tampa neadekvatūs.
4. Tyrime, kur atstumas matuojamas su dviem kameromis išsiaiškinta, kad didėjant atstumui tarp kamerų, paklaidos mažėja. Paklaidos didėjant atstumui, tarp kamerų, mažėja netolygiai, su vis mažesniu intensyvumu. O paklaidos didėjant atstumui iki objekto, kai atstumas tarp kamerų nekinta, didėja tiesiškai, taip pat didėja ir procentinės paklaidos.
5. Iš tyrimo, kur atstumas matuojamas panaudojant kameros aukštį ir pasisukimo kampą, tiksliausi rezultatai gauti, kai kamera aukščiausiai – 2 metrai (išskyrus kai atstumai iki objekto maži: 0,5 ir 1 metras). Didėjant atstumui iki objekto, paklaidos didėja eksponentiškai. Apskaičiuota, kad kuo kamera aukščiau, tuo didesnę atstumą galima išmatuoti, kai kameros aukštis 0,5 metro, tai maksimalus išmatuotinas atstumas yra 28,68 metrų, o kai kameros aukštis 2 metrai, maksimalus atstumas 114,68 metrų (kampas abiem atvejais  $89^\circ$ ).
6. Tiksliausias matavimo būdas, kai naudojamos dvi kameros, nors kai kuriais atvejais mažesnės paklaidos gautos su viena kamera, apskaičiuojant iš objekto pločio. Taip yra todėl, kad tyrime, kur naudojamos dvi kameros, nuotraukos buvo su mažesne skiriamąja geba. Panaudojant kameros aukštį rezultatai gauti, palyginus, netikslūs, su didžiausiomis paklaidomis, taip pat šiuo būdu atstumas suskaičiuojamas daug lėčiau, nes reikia keisti kameros poziciją.

## Literatūros sąrašas

1. Distance in mathematics, physics, and computation [interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 m. kovo 14d.] Prieiga per internetą: <https://en.wikipedia.org/wiki/Distance>
2. Fotoaparatas optinis mechaninis arba optinis elektroninis prietaisas objektų atvaizdams gauti [interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 m. kovo 15d.] Prieiga per internetą: <https://lt.wikipedia.org/wiki/Fotoaparatas>
3. Paprastieji optiniai prietaisai [interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 m. kovo 15d.] Prieiga per internetą: [http://ik.su.lt/~mariusbm/optika/teorija/paprastieji\\_prietaisai.htm](http://ik.su.lt/~mariusbm/optika/teorija/paprastieji_prietaisai.htm)
4. Kamerų suderinimo paveikslas. Atstumo matavimo su dviem kameromis schema. Paklaida susidaranti dėl vieno pikselio paklaidos paveikslas. Atstumo matavimas, kai kameros nėra lygiagrečiai paveikslas. [Žiūrėta 2017 m. kovo 17d.] Prieiga per internetą: <http://dsc.ijs.si/files/papers/s101%20mrovlje.pdf>
5. Kameros židinio nuotolio paveikslas. [Žiūrėta 2017 m. kovo 23d.] Prieiga per internetą: <http://martybugs.net/blog/blog.cgi/learning/Field-Of-View-And-More.html>
6. Donatas Dervinis. Vaizdų apdorojimas. Kaunas: KTU Mechanikos ir mechatronikos fakultetas 2012, 59 p.
7. Kraštų išskyrimo paveikslas. [Žiūrėta 2017 m. kovo 23d.] Prieiga per internetą: <http://www.walrusvision.com/wordpress/tag/edge-detection-2/>
8. Camera Calibration and 3D Reconstruction [interaktyvus]. [Žiūrėta 2017 m. balandžio 11d.] Prieiga per internetą: [http://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera\\_calibration\\_and\\_3d\\_reconstruction.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html)
9. Atstumo matavimo su pasukta kamera paveikslas. [Žiūrėta 2017 m. balandžio 11d.] Prieiga per internetą: <http://andrageoid.com/2010/09/measure-distances-heights-and-direction-with-your-android-phone-using-smart-measure/>
10. Rueger, Jean M. Electronic Distance Measurement, 2007, 114-152 p.
11. Brian May. 3D stereoscopoc, 2014, 64-112p.
12. Algimantas Juozapavičius. Vaizdų ir signalų analizė ir apdorojimas, Vilnius: TEV 2011, 111-147 p.
13. T H Baer. Measuring Distance, London, 2016, 82-87 p.
14. Laure Leroy. Eyestrain Reduction in Stereoscopy, Washington, 2016. 99-102 p.
15. Christian Kollmitzer. Object Detection and Measurement Using Images, Berlin, 2012. 26-38 p.