

VILNIAUS UNIVERSITETAS
FIZIKOS FAKULTETAS
KIETOJO KŪNO KATEDRA

Andrius Ramelis

TOF ATSTUMOMATUOKLIO VL53L0X TYRIMAS

Pagrindinių studijų baigiamasis darbas
Telekomunikacijų fizikos ir elektronikos studijų programa

Studentas
Darbo vadovas
Recenzentas
Katedros vedėjas

Andrius Ramelis
Dr. Mindaugas Viliūnas
Dr. Vygintas Jankauskas
Prof. dr. Kęstutis Arlauskas

Vilnius 2017

Turinys

Įvadas	3
1. Literatūros apžvalga.....	4
1.1 Atstumo matavimo metodai	4
1.1.1 Lazeriniai TOF atstumo matuokliai	4
1.1.2 Lazerinės TOF kameros	6
1.1.3 Lazeriniai triangulatoriai.....	7
1.1.4 Sonarai	7
1.1.5 Radarai	8
1.1.6 Induktyvumo matuokliai	9
1.2 VL53L0X atstumo matuoklis	11
1.2.1 Lazeriai, spinduliuojantys per vertikalią ertmę paviršiuje	14
1.2.2 Vienfotoniai griūtiniai diodai	15
Tyrimo rezultatai.....	17
Išvados	24
Literatūros sąrašas.....	25
Summary	26

Ivadas

Lazeriniai TOF (“Time of flight” – liet. lėkio trukmė) matuokliai- tai labai patogūs atstumo matuokliai. Jų veikimo principas yra gana paprastas, jie skaičiuoja laiką, per kurį iš lazerio paduodamas šviesos impulsas pasiekia objektą, nuo jo atspindi ir grįžta atgal, tada žinant šviesos greitį yra labai paprasta apskaičiuoti atstumą. Kadangi jie matuoja lazerio impulsu, nes lazeris skleidžia monochromatinę šviesą. Jie yra bekontakčiai prietaisai, o tai leidžia tirti objektus kurie juda, arba yra labai trapūs.

Lazeriniai atstumo matuokliai gaminami jau nuo 1960-ųjų, po lazerio išradimo. Pradžioje jie buvo naudojami meteorologijoje matuojant debesų judėjimą. Tada pastebėjus, kad toks atstumo matavimas yra labai tikslus, jie buvo pradėti naudoti kosmose ir 1971m. su šia technologija buvo sudarytas mėnulio paviršiaus žemėlapis. Pirmieji lazeriniai atstumo matuokliai buvo labai dideli. Bet tobulėjant technologijai prietaisų dydis sumažėjo ir šiais laikais jie yra mažesni už monetą, todėl jie pradedami naudoti praktiškai visur: nuo robotų kūrimo iki kasdieninių prietaisų. Kadangi šie dydžiai buvo pasiekti palyginti neseniai, todėl ši rinka yra dar maža, bet ateityje turbūt bus labai didelė. Neseniai buvo pradėti gaminti pigūs mažų gabaritų matuokliai, kurių tikslas yra daugiau ne tikslumas, o masiškumas, leidžiantis juos naudoti kaip prieinamus atstumo matuoklius, kuriuos galima naudoti praktiškai visur.

Šio darbo tikslas yra palyginti lazerinį atstumo matuoklį VL53L0X su šiuo metu populiariausiais atstumo matuokliais ir ištirti jo charakteristikas.

1. Literatūros apžvalga

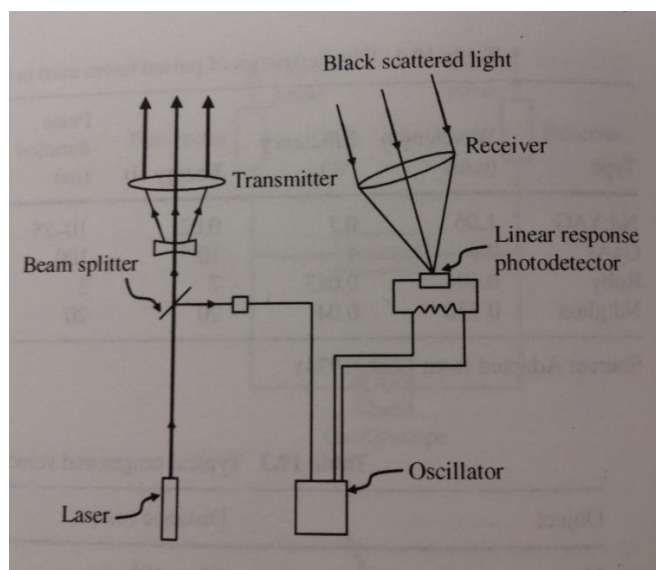
1.1 Atstumo matavimo metodai

Atstumą galima matuoti daugeliu būdų, pavyzdžiui lazeriniais TOF prietaisais, kurie atstumą skaičiuoja pagal laiką, per kurį šviesa nukeliauja iki objekto ir atgal. Lazerinės TOF kameros tai prietaisai, kurie atstumą skaičiuoja pagal laiką, per kurį šviesa nukeliauja iki objekto ir atgal, tik skaičiuoja ne atstumą iki vieno taško, o iki daugelio taškų. Triangulatoriai, kurie matuoja kampą, kurį sudaro lazerio spindulys ir tiesė tarp lazeriu apšviestos objekto vietos ir detektoriaus. Sonarai, kurie atstumo matavimui naudoja garso bangas bei radarai, kurie naudoja radijo bangas. Induktyvumo jutikliai, kurie skleidžia magnetinį lauką ir tiria jo pokyčius. Visi prietaisai turi savų pliusų ir minusų, todėl renkantis matavimo prietaisą reikia rinktis tą, kurio trūkumai mažiausiai įtakoja matavimą.

1.1.1 Lazeriniai TOF atstumo matuokliai

TOF tai prietaisai, kurie matuoja atstumą iki tam tikro objekto, paduodami moduliuotą šviesos impulsą ir matuodami laiką, per kurį atspindėjusi šviesa grįžta iki matuoklio. Kadangi jų matavimų pagrindinė konstanta yra šviesos greitis, todėl šių prietaisų matavimai užtrunka labai trumpą laiko tarpą. [1] Dažniausiai lazeriniai TOF prietaisai naudojami 3D žemėlapių sudarymui, nes jie pasižymi neblogu tikslumu. Jie naudojami geodezijoje, archeologijoje, geografijoje ir kitur, kur reikia didelio tikslumo. Su tokiais prietaisais, kurie yra palydovuose, galima tirti net mėnulio seisminį aktyvumą, kadangi ten naudojami atstumo matuokliai gali matuoti 10cm tikslumu. Tobulėjant technologijai ir mažėjant prietaisų matmenims, tokie matuokliai pradami naudoti ir matuojant mažesnius atstumus, nes jie pasižymi labai dideliu tikslumu, jie tampa vis paklausesni robotikos ir elektronikos srityse, kur reikia tikslaus atstumo matavimo. [2]

TOF atstumo matuokliams yra būtini 3 prietaisai: lazeris, fotodetektorius ir procesorius. Lazeriai dažniausiai naudojami, kurių skleidžiamos šviesos bangos ilgiai yra 600-1000nm, nes jų gamyba yra gana pigi ir paprasta, o šių bangų ilgio prietaisai yra lengvai fokusuojami. Kariuomenėje dažniausiai naudojami 1550nm bangos ilgio lazeriai, kadangi jie yra žymiai galingesni ir nematomi su naktinio matymo akiniais. O tiriant vandenynus naudojami 1064nm bangos ilgio lazeriai, nes jų lazerių spinduliai lengviau prasiskverbia pro vandenį. Fotodetektorius - tai prietaisas, kuris apšviestas keičia pro jį tekančią srovę, o kartais ir pats fotodetektorius būna srovės šaltinis. Dažniausiai dėl didesnio, nei kitų fotodiodų jautrio, yra naudojami griūtiniai fotodiodai į kuriuos patekę fotonai sukelia pramušimą. Procesorius yra prietaisas, kuris paduoda impulsą į lazerį ir skaičiuoja laiką, per kiek laiko šviesos impulsas nuo lazerio keliauja iki objekto ir nuo objekto iki fotodetektoriaus, tada apskaičiuoja atstumą iki objekto. Dažnai prietaisuose, kuriuose yra ne vienas TOF matuoklis papildomai yra naudojami skaitytuvai, kurie sujungia kelių matuoklių duomenis. Šie skaitytuvai yra būtini sudaryti 3D vaizdus. [2]



1 Pav. Lazerinio TOF atstumo matuoklio blokinė schema [1]

TOF prietaisų veikimo principas yra gana paprastas. Visų pirma, procesorius paduoda trumpą signalą į šviesos šaltinį, kuris skleidžia vieną trumpą šviesos impulsą. Šis impulsas sklisdamas aplinkoje ir pasiekęs objektą atsispindi, tada atsispindėjęs šviesos impulsas pasiekia fotodetektorių, kuris šviesos impulsą paverčia nestipriu elektriniu impulsu, kuris paduodamas į prietaiso procesorių. Tada procesorius, kuris skaičiuoja laiką nuo pradinio impulso į šviesos šaltinį (dažniausiai lazerį) iki tada, kai gavo impulsą iš fotodetektoriaus, gali apskaičiuoti atstumą iki objekto, ties kuriuo atsispindėjo šviesos šaltinio paduoto impulso spindulys. Šis atstumas apskaičiuojamas paprasta formule:

$$l = \frac{ct}{2}, \quad (1)$$

Šioje formulėje l – atstumas nuo atstumo matuoklio iki objekto, c – šviesos greitis, o t – laikas, per kurį šviesa nukeliauja atstumą nuo matuoklio iki objekto ir atgal.

Kadangi aplinkoje, kurioje vyksta matavimas, gali būti saulės arba kitos šviesos šaltinis, kurio šviesa gali patekti į fotodetektorius, naudojami filtrai kurie maksimaliai sumažina į fotodetektorius patenkančios parazitinės šviesos kiekį, todėl šiuos prietaisus galima naudoti praktiškai bet kur. Šie prietaisai gali būti naudojami netik atstumo matavimui, bet ir matuoti medžiagų, per kurias gali sklisti šviesa, parametrus. Dažnai TOF prietaisai naudojami tirti dujų arba skysčių tankį, nes nuo medžiagos tankio priklauso šviesos greitis joje. Šiame prietaise papildomai gali būti osciliatorius (1 pav.), kuris vienu metu paduoda signalą į lazerį ir procesorių, taip galima lengvai matuoti atstumą labai dideliu dažniu. Taip pat taip yra lengviau apskaičiuojami maži laiko tarpai, nes laiką galima apskaičiuoti ir iš šviesos bangos fazės pokyčio, tai apskaičiuojama pagal formulę:

$$t = \frac{\varphi}{\omega} \quad (2)$$

Šioje formulėje t – laikas, per kurį šviesa nukeliauja atstumą nuo matuoklio iki objekto ir atgal, φ – išsiųstos ir priimtos bangos fazės pokytis, ω – šviesos signalo kampinis dažnis. Kadangi šis sensorius nėra tvirtinamas ant objekto, tai jo svoris nesukelia papildomų objektų svyravimų matavimų metu, o tai leidžia ištirti judančių objektų judėjimą.

TOF prietaisų vienos iš pagrindinių problemų yra tai, kad jų atsako trukmės yra labai trumpos ir jų įvertinimui reikalinga didelė laikinė skyra. Atsako trukmė tai dydis, priklausantis

nuo prietaiso viduje esančio fotodiodo. Ji priklauso nuo fotodiodu tekančių krūvininkų efektinės gyvavimo ir difuzijos trukių, jo varžos ir talpos. Laikinė skyra tai dydis, kuris parodo, kokią mažiausią atstumo pokytį gali užfiksuoti prietaisas. Šis dydis gali kisti dėl aplinkos temperatūros, objekto atspindžio koeficiento bei aplinkos apšvietumo. Nuo šio dydžio priklauso mažiausias matuojamas atstumas, dažniausiai jis būna lygus kelioms milimetro dešimtosioms dalims, bet gali siekti ir kelis centimetrus. Dėl šių dydžių gali kilti netikslumų, kuriuos norint pašalinti reikia rezultatus daug kartų vidurkinti, o tai labai padidina matavimo trukmę. [3] O didžiausia problema yra tai, kad šiame prietaise naudojami komponentai turi skirtingas laikines skyras, o tai labiausiai įtakoja matavimų trukmę, todėl vienas matavimas su vidurkinimu užtrunka apie 20ms.

1.1.2 Lazerinės TOF kameros

Lazerinės TOF kameros tai kameros, galinčios nustatyti atstumą iki kiekvieno fotografuojamo arba filmuojamo objekto taško. Šias kameras sudaro lazeris, kuris generuoja vieną trumpą šviesos impulsą, lęšis, kuris paskleidžia lazerio spindulį į visas puses, vaizdo jutiklis - tai prietaisas, kuris surenka visus atsispindėjusius lazerio spindulius, procesorius, kuris gavęs signalus iš lazerio ir vaizdo jutiklio apskaičiuoja atstumą iki kiekvieno fotojutiklio pikselio. Šiose kamerose lazeris nėra būtinas prietaisas, nes vietoj jo galima naudoti šviesos diodą, kuris be lęšio gali apšviesti norimą objektą. Dažniausiai šiose kamerose naudojamas vienas lazeris su lęšiu, kuris paskleidžia lazerio spindulį į visas puses tam tikru kampu, retkarčiais kiekvienam taškui naudojamas atskiras lazeris, taip padidėja matavimų tikslumas, bet tai padidina ne tik prietaiso kainą ir dydį, bet ir pasunkina gamybos procesą. Šios kameros veikimo principas yra panašus į kitų TOF prietaisų. Šios kameros šviesos šaltinis (lazeris su lęšiu arba šviesos diodas) labai trumpą laiko tarpą apšviečia objektą, tada šviesa apsiekusi objektą atsispindi nuo jo, o kameros vaizdo jutiklis surenka visus atsispindėjusius lazerio spindulius ir paduoda signalą procesoriui, kuris apskaičiuoja atstumą (2 pav.). Su šiomis kameromis galima sudaryti 3D vaizdą su vienu lazerio impulsu, tai labai sutrumpina vaizdo sudarymo laiką, nes nereikia matuoti atstumo atskiruose taškuose, kaip su kitomis 3D kameromis.[4]

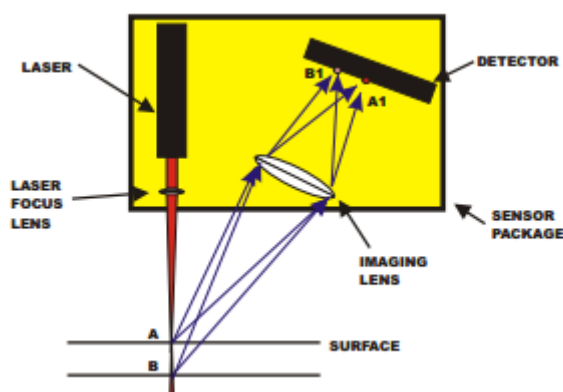


2 pav. Lazerinės TOF kameros veikimo principas [5]

1.1.3 Lazeriniai triangulatoriai

Triangulatoriai tai lazeriniai prietaisai, kurie matuoja kampą, kurį sudaro lazerio spindulys ir tiesė tarp lazeriu apšviestos objekto vietos ir detektoriaus. Triangulatorius matuoja atstumą su lazeriu apšviestas objektą, tada su detektavimo lęšiu sudarydamas objekto vaizdą ant detektoriaus, kuris užfiksuoja, kurioje vietoje yra lazerio spindulys ant matuojamo objekto, o tada pagal kampą apskaičiuoja atstumą. Kadangi kintant atstumui tarp matavimo prietaiso ir matuojamo objekto kinta detektavimo lęšio sukuriama objekto atvaizdo vieta (3 pav.), dėl to kinta ir kampas, kuriuo atsispindi lazerio spindulio atvaizdas detektoriuje. O žinant tą kampą su trigonometrijos formulėmis galima apskaičiuoti atstumą tarp atstumo matuoklio ir objekto.

Lyginant su lazeriniais TOF prietaisais lazeriniai triangulatoriai gali matuoti ir didelius, ir mažus atstumus kelių mikronų tikslumu, taip pat šviesos greitis yra labai didelis, todėl su šiais prietaisais galima išmatuoti greitai judančius objektus. Todėl su triangulatoriais dažnai yra tiriamos naujos padangos, norint pastebėti vibracijas, kurias sukelia gamybos defektai, taip pat jie naudojami 3D spausdintuvuose, norint kuo tiksliau pagaminti bandinį. Tai yra patys tiksliausi bekontaktiniai matuokliai. Kadangi šiems atstumo matuokliams nėra būtina impulsinė šviesa, kuri yra reikalinga TOF prietaisams, todėl jie gali greičiau išmatuoti atstumo pokyčius.



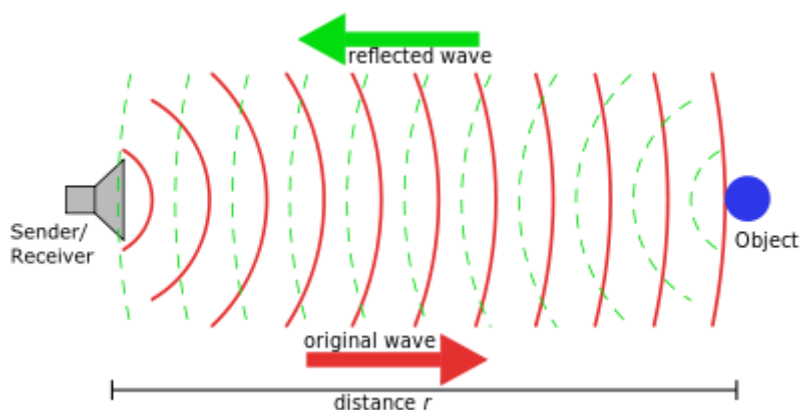
3 pav. Triangulatoriaus atstumo matavimo principas

Triangulatoriai, lyginant su TOF atstumo matavimo prietaisais turi ir trūkumų. Visų pirma didžiausias trūkumas tai didelė kaina ir sudėtingas pagaminimas. Antra, prietaise turi būti naudojami mažatriukšmiai komponentai, nes triukšmai labai įtakoja matavimo tikslumą. Trečias didelis trūkumas - matuojamas atstumas labai priklauso nuo lazerio fokusavimo lęšio, tai reiškia, kad norint matuoti skirtingus atstumus reikia skirtingų prietaisų arba prieš kiekvieną matavimą keisti fokusavimo lęšį. Taip pat matavimų tikslumas priklauso nuo objekto spalvos, nes jeigu lazerio spinduliuojamo šviesos pluošto spalva yra panaši į objekto spalvą, tai detektorius negali užfiksuoti lazeriu apšviestos vietos ant objekto, norint šią problemą išspręsti, galima naudoti prietaisą, kurio lazeris gali keisti savo spinduliuojamos šviesos bangos ilgį bei plataus spektro jutiklius. [6]

1.1.4 Sonarai

Sonarai yra prietaisai, kurie naudodami garso bangas matuoja atstumą. Sonarų veikimo principas yra labai panašus į lazerinių atstumo matuoklių, nes sonaras paduoda garso bangą, dažniausiai infragarso arba ultragarso, bangą, kuri atsispindėjusi nuo objekto grįžta į mikrofoną, tada prie sonaro prijungtas procesorius pagal laiką, per kurį banga pasiekė objektą

ir atspindėjusi grįžo, apskaičiuoja atstumą. Jie dažniausiai naudojami laivų navigacijoje, nes garso bangos labai tinka tirti vandenį. Sonaras turi du pagrindinius prietaisus: siųstuvą ir imtuvą (mikrofoną) (4 pav.). Jis paduoda trumpą garso signalą ir tada laukia kol atspindėjęs garsas grįš į mikrofoną. Garso signalas sukuriamas su signalų generatoriaus, galios stiprintuvo ir elektroakustinio keitiklio pagalba. Kadangi sonaras garso bangas paduoda tam tikru kampu, tai matuojamas atstumas yra iki artimiausio objekto taško.



4 pav. Sonaro veikimo principas

Lyginant su lazeriniais TOF matuokliais, sonarai yra atsparūs vandeniui bei kitų prietaisų kuriamiems triukšmams.

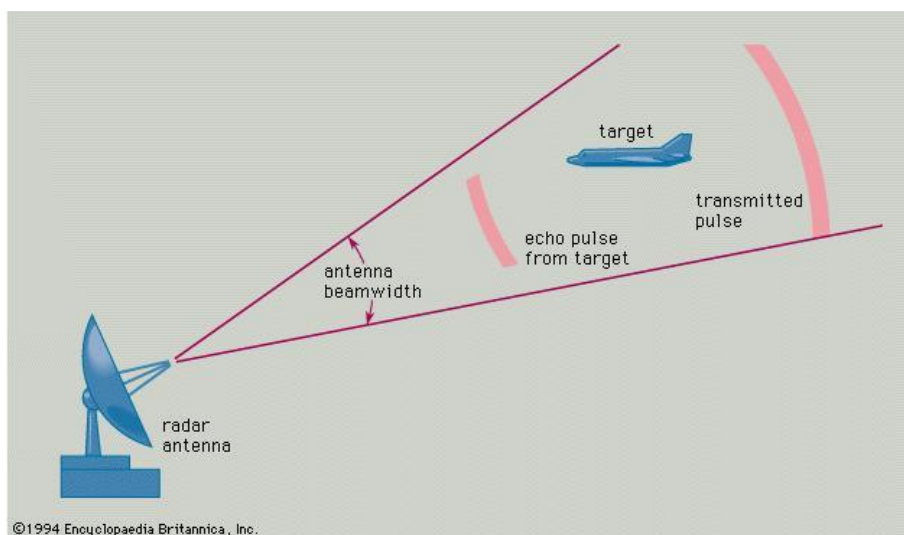
Pagrindinis sonaro trūkumas yra tai, kad su juo matuojant ne vandenyje, atsiranda daug daugybinių atspindžių dėl plataus bangos fronto, kurie patekę į sonaro mikrofoną gali įtakoti matavimo rezultatus. Kitas didelis minusas yra tai, kad jie pasižymi dideliu dydžiu ir nėra tokie tikslūs, kaip lazeriniai atstumo matuokliai. Taip pat kadangi sonarai naudoja garso bangas, tai jie lėčiau veikia, nes garso greitis yra daug kartų mažesnis už šviesos. [7]

1.1.5 Radarai

Radarai yra prietaisai naudojantys radijo bangas atstumo matavimui. Jie dažniausiai naudojami apskaičiuoti atstumui iki objekto, bei nustatyti jo greitį. Radarai dažniausiai būna sudaryti iš:

1. siųstuvo, kuris generuoja elektromagnetines bangas radijo ir mikrobangų diapazone,
2. siunčiančiosios antenos, kuri nukreipia bangas į norimą pusę ir skleidžia jas,
3. imtuvo antenos (labai dažnai naudojama viena antena, kuri ir siunčia bangas ir priima),
4. procesoriaus, kuris apskaičiuoja reikalingus parametrus (atstumą ir greitį).

Radaro veikimo principas yra toks: radare esantis bangų generatorius sukuria elektromagnetines bangas, kurias antena pasiunčia norima kryptimi, tos bangos keliaudamos atmosfera pasiekia tam tikrą objektą ir tada jos atspindi arba yra išsklaidomos. Ar banga yra išsklaidoma ar atspindima priklauso nuo objekto laidumo. Jei objektas yra laidus, banga yra atspindima, o jei nelaidus, tai banga – išsklaidoma. Kadangi lėktuvai yra dažniausiai gaminami iš medžiagų, kurios yra laidžios, todėl su radaru yra patogu matuoti atstumą iki jų bei jų greitį. Su radarais patogu nuspręsti objekto judėjimo kryptį, nes jeigu objektas artėja arba tolėja nuo radaro, tai tada banga keičia savo dažnį, pasireiškia Doplerio efektas.



5 pav. Radaro veikimo principas [9]

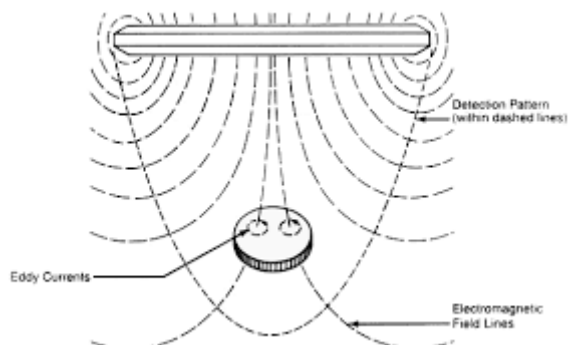
Lyginant su lazeriniais TOF matuokliais, radaro atstumo matavimo principas yra lygiai toks pat, tik juose vietoje šviesos bangų naudojamos radijo bangos. Radarai yra daug kartų atsparesnis aplinkos poveikiui, bet jie yra daug kartų didesni bei ne tokie tikslūs.

Radaras turi daug minusų lyginant su lazeriniais atstumo matuokliais. Pagrindinis minusas yra radaro dydis. Kadangi radijo bangos pasiekusios objektą yra išskaidomos į visas puses, tai norint, kad į radarą grįžtų kuo didesnis signalas reikia antenos, kurios dydis priklauso nuo matuojamo atstumo. Dar vienas didelis radarų minusas yra tai, kad nuo nelaidžių objektų elektromagnetinės bangos neatsispindi arba atsispindi labai silpnai, o yra išskaidomos, dėl to su radarais negalima tirti atstumo iki daugelio medžiagų. Taip pat su šiais prietaisais matuojant aplinkose su stipriais elektromagnetiniais laukais pasireiškia dideli bangų iškraipymai, o dėl to gauti rezultatai yra labai netikslūs. [8]

1.1.6 Induktyvumo matuokliai

Induktyvumo matuokliai tai prietaisai, kurie naudojami nustatyti metalinių objektų vietą ir atstumą iki jų. Jų maksimalus matuojamas atstumas priklauso nuo to, iš kokio metalo pagamintas objektas. Jeigu metalo sudėtyje yra geležies molekulių tai detektuojamas atstumas yra didesnis, todėl su šiais prietaisais lengvai matuojamas atstumas iki geležinių arba plieninių objektų. Pagrindinis šių prietaisų privalumas yra toks, kad su jais galima matuoti atstumą iki metalinių objektų, kurie yra kitoje medžiagoje, pavyzdžiui, plastike. Pagrindinis šių prietaisų elementas yra kilpa, kurioje elektros srovė sukuria magnetinį lauką. Šis laukas labiausiai priklauso nuo to, iš kokios medžiagos pagaminta kilpa. Kadangi ties kilpa susidaręs magnetinis laukas netoliese esančiuose metaliniuose objektuose sukuria sūkurinę srovę (6 pav.), kuri aplink objektą sukuria magnetinį lauką, kuris susideda su kilpos sukurtu lauku ir taip padidėja ties kilpa esantis magnetinis laukas. Pagal šio lauko padidėjimą galima apskaičiuoti atstumą iki objekto, todėl su šiais prietaisais galima nesunkiai matuoti atstumą. Šie prietaisai dažniausiai naudojami metalo detektoriuose, eismo reguliavimo šviesoforuose ir automatinėse automobilių plovyklėse. Taip pat šie prietaisai dažnai naudojami automatizuotoje pramonėje, norint optimizuoti metalinių objektų gamybą. Kadangi šiam prietaisui nereikia kontakto su objektu, tai jis dažniausiai naudojamas matuoti atstumą iki sunkiai prieinamų objektų, arba kurioje vietoje ant objekto yra purvo sluoksnis, kuris gali pakenkti prietaisui. Naujausi

induktyviniai atstumo matuokliai vietoje kilpos naudoja laidžius laminuotus lakštus - tai padidina šių prietaisų atsparumą smūgiams.

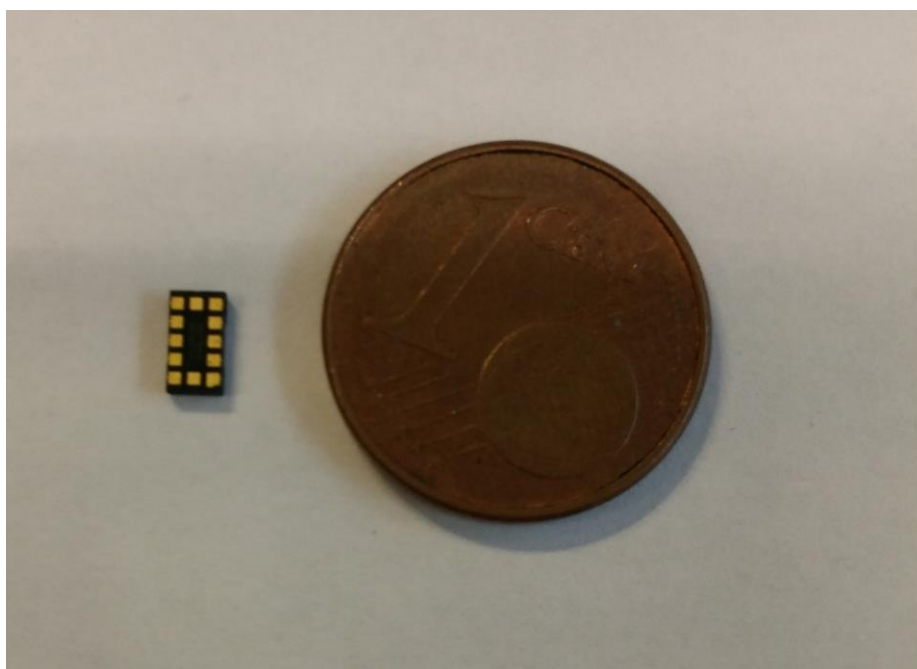


6 pav. Matavimo principas matuojant induktyviniu atstumo matuokliu [10]

Induktyviniai atstumo matuokliai yra populiarius atstumo matuokliai, kadangi jų veikimo principas yra gana paprastas. Bet lyginant su lazeriniais matuokliais - jie turi labai daug trūkumų. Visų pirma su jais galima matuoti tik atstumą iki metalinių objektų. Taip pat tiriant skirtingus metalus gaunamas skirtingas poveikis magnetiniam laukui, todėl tiriant skirtingus metalus reikia keisti skaičiavimo algoritmą. Dar vienas svarbus trūkumas yra tai, kad tiriant metalus, kurių sudėtyje yra mažai arba visai nėra geležies molekulių, pavyzdžiui, aliuminį ar varį, tai maksimalus matuojamas atstumas yra daug mažesnis už kitų metalų. [11]

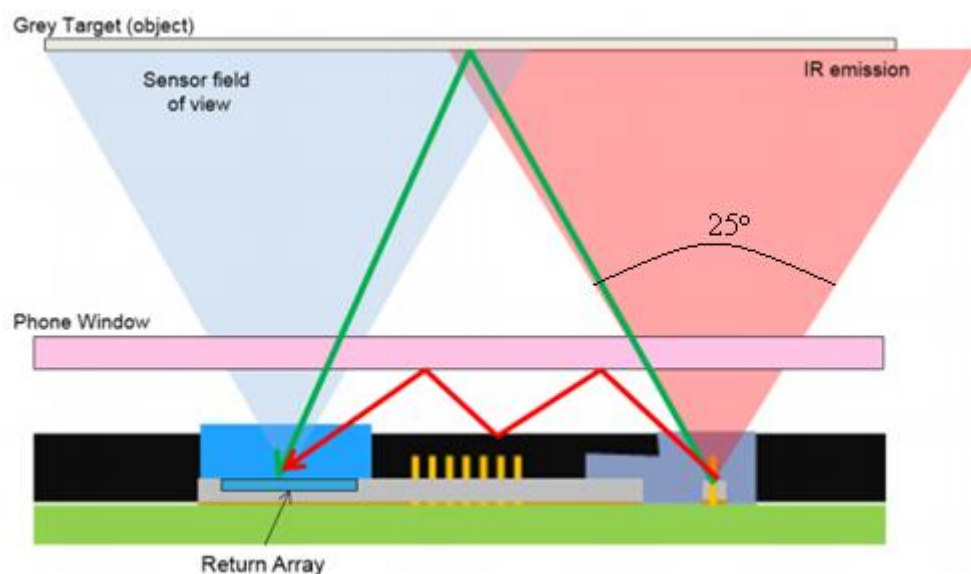
2. VL53L0X atstumo matuoklis

VL53L0X (7 pav.) TOF atstumo matuoklis yra pats mažiausias ir pigiausias atstumo matuoklis naudojantis „Time of Flight“ technologiją, jis kainuoja 2,6\$ (2.33€) bei gali matuoti tikslų atstumą iki objekto, kurio paviršius gali būti mažai atspindintis šviesą. Didžiausias matuojamas atstumas priklauso nuo objekto atstumo ir nuo aplinkos, kurioje vyksta matavimas. Aplinkos įtaka taip pat svarbi, nes matuojant lauke maksimalus atstumas sumažėja smarkiai, pavyzdžiui, atstumą iki balto objekto, uždaroje aplinkoje galima matuoti iki 2m, o aplinkoje su daug pašalinių šviesos šaltinių iki 80cm. Šis aplinkos poveikis pasireiškia dėl to, kad lazerio spindulys sklisdamas aplinka silpsta, o jei aplinkoje yra daug infraraudonųjų spindulių, tai šie spinduliai yra papildomas triukšmo šaltinis ir, esant dideliame atstumui, spinduliai, pasiekę detektorius, yra ženkliai silpnesni už foninę spinduliuotę. Taip pat su šiuo lazeriu atstumą iki objektų galima matuoti, kai objektai nėra tiesiai prieš prietaisą, maksimalus kampas yra 25° (8 pav.), tai yra dėl to, kad su lazeriniu diodu yra kartu naudojamas ir lęšis, kuris lazerio spindulį paskleidžia ne tiesiai, o 25° kampu. Tai leidžia atstumą matuoti ne iki tiesiai esančio objekto, o iki artimiausio jo taško, tai yra vienas iš pagrindinių šio matuoklio privalumų, nes jeigu būtų naudojamas lazerinis diodas, kurio spindulys sklinda tik tiesiai ir nediverguoja, tai tada nuo objektų spindulys gali atspindėti kampu ir nepatekti į fotodiodą. Šis prietaisas kaip šviesos šaltinį naudoja lazerį, spinduliuojantį per vertikalią ertmę paviršiuje (Vertical-cavity surface-emitting laser - VCSEL), kuris skleidžia 940nm infraraudonosios šviesos spindulius, o kaip fotodetektorius naudoja vienfotonius griūtuosius diodus (Single – photon avalanche diodes - SPAD), kurie gali užfiksuoti labai mažą šviesos kiekį ir pasižymi labai greitu veikimu. Šis prietaisas pasižymi labai mažu dydžiu: 4,4mm ilgis, 2,4mm plotis ir 1mm aukštis. Matuojant su šiuo prietaisu tipiškas matavimas trunka apie 33ms, bet galima pasiekti, kad prietaisas pamatuotų atstumą ir per 8ms, todėl jis yra labai paklausus robotikos rinkoje. Šiuose prietaisuose naudojami SPAD tipo fotodiodai gali veikti tik nuo 253K iki 343K, toks temperatūrų intervalas yra pakankamas atlikti matavimams įprastomis sąlygomis.



7 Pav. VL53L0X TOF atstumo matuoklis

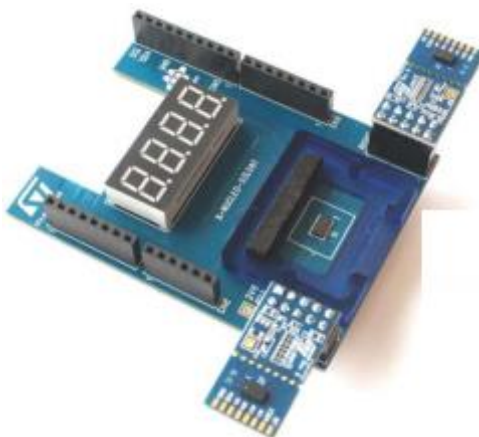
Taip pat šie prietaisai gali būti naudojami ir nešiojamiems kompiuteriams ir telefonams, kad jie galėtų fiksuoti, kada niekas nesinaudoja jais ir taip sumažinti energijos nuostolius. Šie prietaisai dar gali būti naudojami fotoaparatuose, kad padėtų greičiau fokusuoti objektą esant mažiems šviesos kiekiams ir prasto kontrasto sąlygomis, taip pat gali padėti greičiau sufokusuoti greit judančius vaizdus filmuojant. Šis prietaisas naudoja lazerį, kuris yra 1 klasės ir yra nepavojingas žmogaus akims, o dėl dviejų infraraudonosios šviesos filtrų, esančių matuoklio viduje, galima naudotis vietose, kuriose yra daug infraraudonosios spinduliuotės šaltinių.



8 Pav. Matavimo metu nuo apsauginio stiklo atsispindėjusio šviesos spindulio kelias

Pagrindinis VL53L0X atstumo matuoklio trūkumas yra tai, kad norint matuoklį apsaugoti nuo pašalinio poveikio (pavyzdžiui smūgių ar drėgmės) reikia naudoti apsauginį stiklą, nuo kurio gali atsirasti atspindžiai nuo stiklo (8 pav.). Tai pasireiškia dėl to, kad šis prietaisas siunčia šviesos impulsus 25° kampu ir dėl šio kampo keli fotonai gali atsispindėti nuo apsauginio stiklo ir patekti į fotodetektorius, tai būtų daug mažesnis atstumas nei įprastai matuojant ir dėl to gali būti blogi rezultatai. Šiuos blogus rezultatus labiausiai įtakoja stiklo defektai (dažniausiai būna įbrėžimai) arba nešvarumai (pirštų antspaudai ar dulkės). Prietaiso viduje esantis mikrovaldiklis skaičiuodamas neatsižvelgia į rezultatus, kurie gali būti atsispindėję nuo apsauginio stiklo ir taip padidina mažiausią atstumą, kurį galima matuoti su šiuo prietaisu. Kitas didelis šio matuoklio trūkumas yra tai, kad sunku sujungti kelis tokius prietaisus prie vieno mikroprocesoriaus. Norint matuoti su šiais prietaisais reikia juos suprogramuoti su I2C programavimo sąsaja, kuri reikalauja, kad visi prietaisai turėtų skirtingus adresus, kad nebūtų gaunami rezultatai iš visų prietaisų vienu metu ir galima būtų atskirti skirtingus rezultatus. Todėl norint matuoti su keliais tokiais pat prietaisais reikia, kad visada būtų įjungtas tik vienas prietaisas, o kiti išjungti. Atlikus matavimus su vienu matuokliu reikia jį programiškai išjungti ir įjungti kitą, kad būtų galima matuoti su juo [12]. Matavimų netikslumai šiame prietaise gali pasireikšti dėl pigių elektronikos dalių, kurios naudojamos norint sumažinti prietaiso kainą. Gamintojai naudoja pigų fotodetektorius, kuris gana tiksliai matuoja nedideliame temperatūrų intervale.

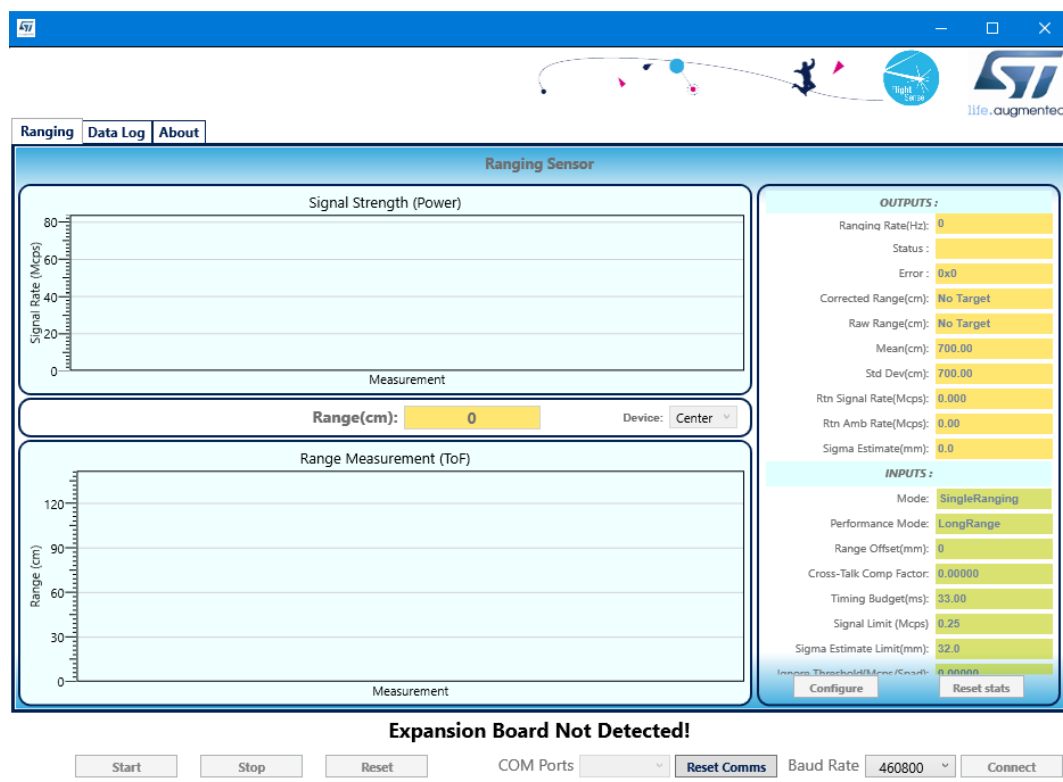
Kadangi gamintojas nepateikia reikalingų parametrų, su kuriais būtų galima parašyti programą, todėl atliekant matavimus yra naudojamas maketas X-NUCLEO-53L0A1 (9 pav.), kuris tinka tik NUCLEO-F401RE mikrovaldikliui.



9 pav. X-NUCLEO-53L0A1 maketas, prie kurio prijungi 2 papildomi V53L0X atstumo matuokliai

X-NUCLEO-53L0A1 maketas parduodamas su vienu į jį įmontuotu VL53L0X matuokliu ir 2 papildomais, kuriuos galima prijungti su papildomais norimo ilgio laidais. [13]

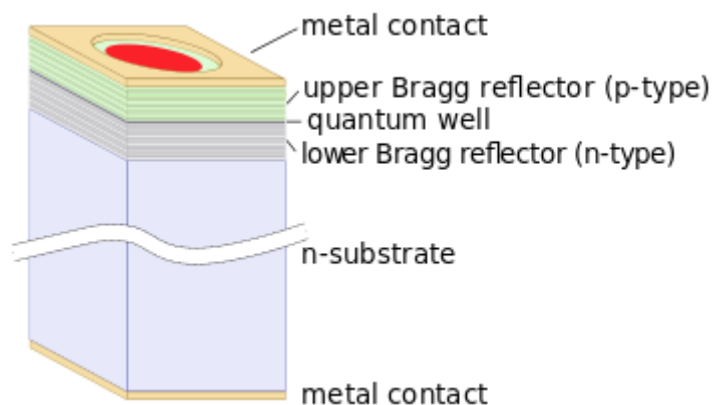
Matavimai atliekami su atstumo matuoklio gamintojų pateikta programa STSW-IMG006 (10pav.). Ši programa skirta tik Windows kompiuteriams. Su šia programa galima matavimų metu stebėti matavimų dažnį, atstumą 0,1mm tikslumu bei klaidas, kurios susijusios su matavimais. Su šia matavimo programa galima nustatyti, norimą matavimo imčių skaičių bei su kuriuo iš trijų galimų VL53L0X bus atliekami matavimai. Didžiausia jos problema yra tai, jog su ja nėra galima ištirti, kaip vieno matuoklio matavimus įtakoja kitas matuoklis, nes su šia programa galima vienu metu matuoti tik su vienu matuokliu. Matavimo režimai kuriais gali matuoti prietaisas su šia programa yra: „High speed“ (didžiausias matavimų dažnis, kuris lygus 50Hz), „Long range“ (didžiausias atstumas, matavimai vyksta 30Hz dažniu, nes impulsų dažnis yra mažesnis) bei „High accuracy“ (didžiausias tikslumas, matavimai vyksta 5Hz dažniu).



10 pav. STSW-IMG006 programa [14]

2.1 Lazeriai, spinduliuojantys per vertikalią ertmę paviršiuje

Lazeriai, spinduliuojantys per vertikalią ertmę paviršiuje (Vertical-cavity surface-emitting laser - VCSEL), tai puslaidininkiniai lazeriniai diodai, kurie skleidžia lazerio spindulį iš viršutinio paviršiaus. Šie lazeriniai turi daug pranašumų prieš įprastus lazerius, o pats didžiausias yra tai, kad juos galima išbandyti dar nebaigus gaminti ir taip galima sutaupyti medžiagų, nes gaminant įprastus lazerinius diodus, jų kokybę galima patikrinti tik gaminimo proceso pabaigoje ir tik pagaminus galima sužinoti ar šie puslaidininkiniai išauginți kokybiškai. Lazerio, spinduliuojančio per vertikalią ertmę paviršiuje, sandara parodyta 11 pav.



11 Pav. VCSEL lazerinio diodo pjūvis.

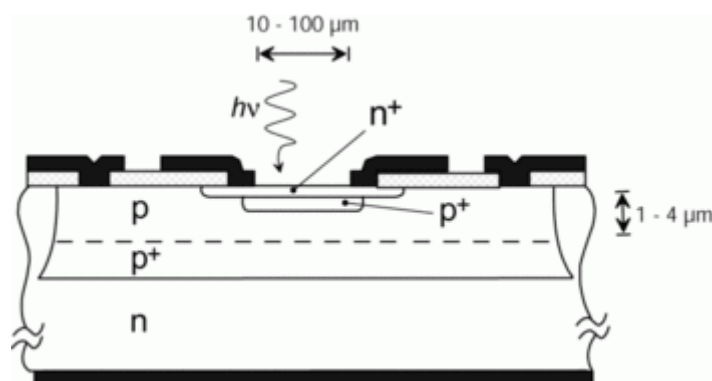
VCSEL lazeriniai diodai dažniausiai gaminami iš galio arsenido ir dėl to, kad jų aktyvioji zona yra statmena spinduliuojamam spinduliui, iš vieno 8cm galio arsenido bandinio galima pagaminti dešimtis tūkstančių lazerinių diodų. Nors šių diodų gaminimo procesas yra

brangesnis ir ilgesnis, nei įprastų, bet kadangi šiuos diodus galima iširti prieš gamybą, todėl visi pagaminti lazeriniai diodai būna kokybiški.

Šie lazeriniai diodai turi 2 Brego atspindinčius paviršius (11 pav.), kurie yra lygiagretūs diodo paviršiui. Tarp dviejų Brego atspindinčių paviršių yra viena ar daugiau kvantinių duobių, kuriose generuojasi lazerio spindulys. Atspindintys paviršiai yra sudaryti iš kelių skirtingo lūžio rodiklio sluoksnių, kurių storumas yra lygus ketvirčiui lazerio spinduliuojamos šviesos ilgio. Abu Brego atspindintys paviršiai turi labai didelį atspindžio koeficientą, nes jeigu naudojami paviršiai, turintys mažą arba vidutinį atspindžio koeficientą, tada lazeriniame diode nebūtų gaunama lazerinė generacija, nes spindulys nebūtų pakankamai sustiprinamas. Paprastuose VCSEL lazeriniuose dioduose naudojami du atspindintys paviršiai: p – tipo ir n – tipo, kurie suformuoja pn sandūrą. Sudėtinguose VCSEL dioduose pn sandūra yra tarp atspindinčių paviršių, tam naudojami daug sudėtingesni puslaidininkių procesai sukuriantys kontaktą su aktyviąja sritimi, bet taip pašalinami galios nuostoliai paskirstytoje Brego atspindinčių paviršių struktūroje. [15]

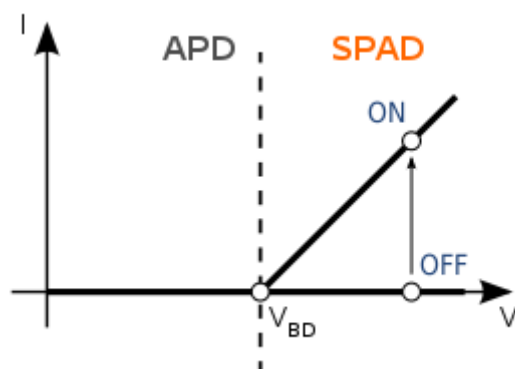
2.2 Vienfotoniai griūtiniai diodai

Vienfotoniai griūtiniai diodai (Single – photon avalanche diodes - SPAD) tai kietojo kūno fotodetektoriai, kuriuose vienas fotonas gali sukelti griūtinį pramušimą dėl griūtinės jonizacijos mechanizmo. Kai šie fotodiodai užfiksuoja nors vieną fotoną, tada jie labai greitai, per kelias dešimtis pikosekundžių gali jau pateikti signalą.



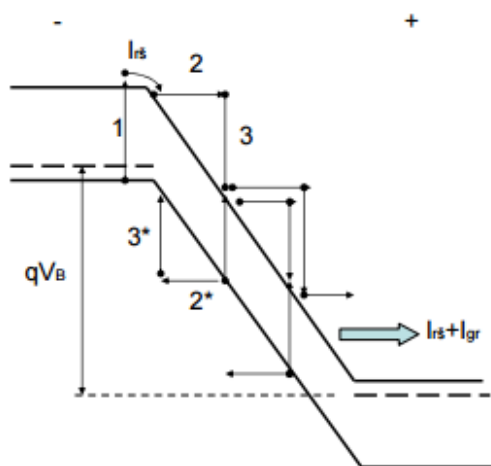
12 Pav. Vienfotonio griūtinio diodo pjūvis

SPAD fotodiodai, kaip ir įprasti griūtiniai fotodiodai, naudoja fotono sukeltą užtvarinę griūtinę srovę, kuri susidaro pn sandūroje. Pagrindinis SPAD ir įprastų fotodiodų skirtumas yra toks, kad SPAD diodai yra sukurti dirbti su didele užtvarinės krypties įtampa, kuri yra didesnė, nei pramušimo įtampa, tai pagreitina fotodiodo atsaką, nes kai prie jų yra prijungta didesnė nei griūtinė įtampa, todėl įvykus pramušimui jų įtampa ne kyla tiesiškai, kaip įprastuose griūtinuose fotodioduose, o staigiai pakyla iki tam tikros įtampos, kuri priklauso nuo užtvarinės įtampos. Todėl šie fotodiodai gali fiksuoti šviesos impulsus greičiau nei įprasti fotodiodai (13 pav.).



13 pav. Griūtinio ir SPAD fotodiodų palyginimas [16]

SPAD tai prietaisai, naudojančys pn sandūros (12 pav.) įtampą atgaline kryptimi, kuri yra lygi pramušimo įtampai arba už ją didesnė. Kadangi šiuose dioduose yra naudojamas griūtinis pramušimas, tai bet koks srovės padidėjimas juose sukeltų griūtinį pramušimą ir dėl to diodu pradėtų tekėti srovė. Kai prie diodo yra prijungiama atgalinės krypties įtampa, tada ties kontaktais susidaro du skirtingų poliarumų elektriniai laukai, o dėl pn sandūroje esančio barjero srovė neteka, nes elektronams neužtenka energijos peršokti jį. Kai į šią sandūrą patenka fotonų, jie gali išmušti elektroną iš jo vietos ir taip suteikti jam energijos peršokti barjerą. Taip įgavę energijos elektronai keliaudami gali išmušti kitus elektronus iš jų vietų ir taip žymiai padidinti diodu tekančią srovę. Ši srovė per kelias nanosekundes gali pakilti iki miliamperų lygio. Kai ši srovė pasiekia šią ribą, į diodą paduodama tiesioginės krypties įtampa, kuri sugražina įtampą į pradinį lygį ir taip sustabdo pramušimą. Tai yra būtina, nes jeigu srovė nesustotų didėti, tai puslaidininkis būtų nepataisomai sugadintas. Taip veikdamas SPAD fotodiodas pasižymi labai greitu fotonų užfiksavimu.



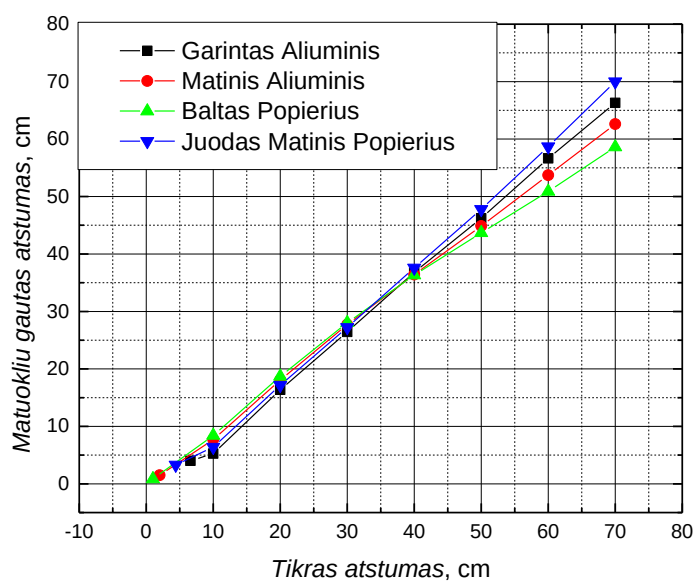
14 pav. Griūtinio pramušimo pn energijos juostinė diagrama [17]

Šis fotono detektavimas reikalauja stabilios grandinės, kuri galėtų:

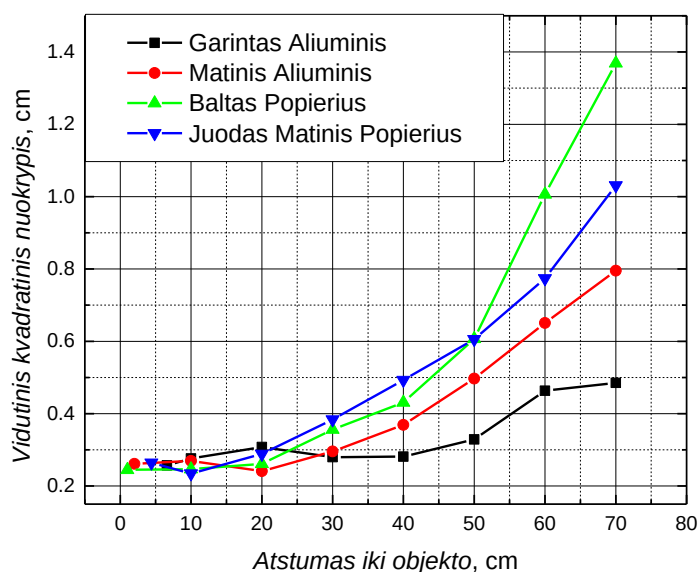
1. Užfiksuoti momentą, kai griūtinės srovė pradeda didėti.
2. Generuoti standartinį signalą, kuris yra sinchronizuotas su griūtime srove.
3. Sustabdyti griūtinio pramušimo srovę, kad būtų galima atlikti daugiau matavimų.
4. Atkurti fotodiodo būseną į pradinę.

Tyrimo rezultatai

VL50L0X atstumo matuoklis buvo prijungtas su gamintojų pateikta programa, nes norint sukurti savo programą reikia naudoti prietaiso registrus, kurių gamintojas visiškai neaprašo. Visų pirma buvo išmatuoti didžiausi atstumai, kuriuos gali matuoti šis matuoklis, kai matuojamas atstumas iki balto popieriaus su trimis galimais matuoklio režimais. „High speed“ ir „High accuracy“ atstumą matavo atitinkamai iki 116cm (matuokliu išmatuotų verčių vidurkis buvo 120,2cm) ir 117cm (matuokliu išmatuotų verčių vidurkis buvo 119,5cm), o „Long range“ režimu matavimai vyko iki 158cm (matuokliu išmatuotų verčių vidurkis buvo 160,2cm).



15pav. Atstumo matuokliu išmatuotų atstumų vidurkio, priklausomybė nuo atstumo iki objekto, su keliais skirtingo atspindžio koeficiento objektais

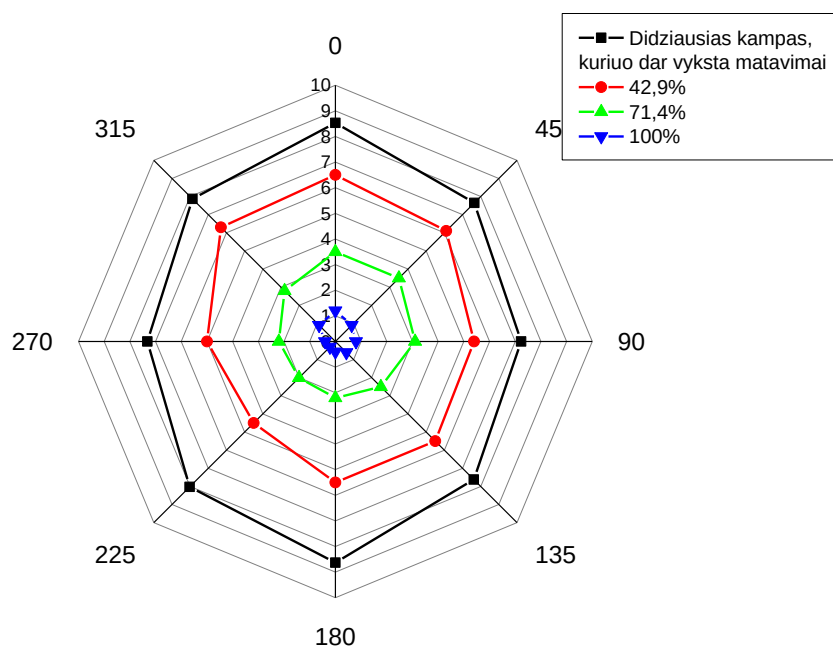


16 pav. Atstumo matuokliu išmatuoto atstumo vidutinio kvadratinio nuokrypio priklausomybė nuo atstumo iki objekto, su keliais skirtingo atspindžio koeficiento objektais.

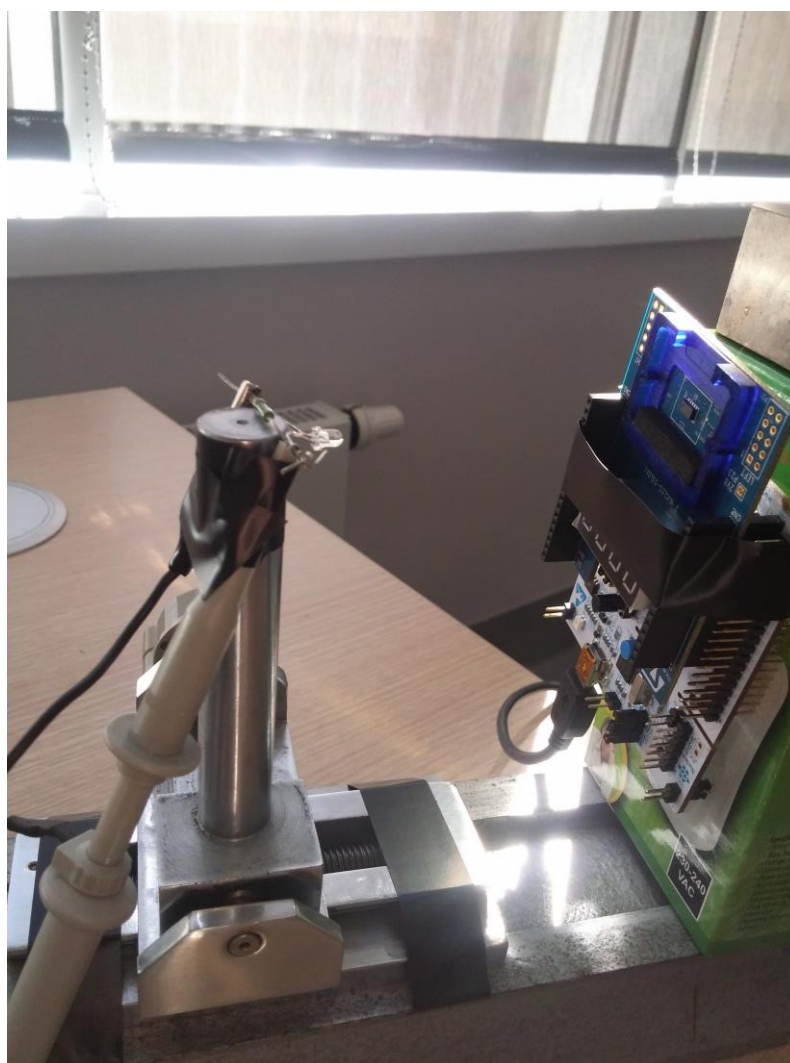
15 ir 16 pav. matavimai buvo atliekami su optiniu stendu prie jo pritvirtinus tiriamąjį atstumo matuoklį ir tiriamąjį objektą. Visų matavimų metu buvo imama po 500 imčių, o matavimų dažnis buvo 50Hz. Atliekant šiuos matavimus buvo stebima, kaip kinta atstumas kintant laikui, kai objektas buvo nejudinamas.

Atliekant 15 pav. pateiktus matavimus buvo pastebėta, kad matuoklio mažiausi matuojami atstumai labai priklauso nuo objekto atspindžio koeficiento nes, matuojant atstumą iki mažo atspindžio koeficiento objekto, pavyzdžiui popieriaus, matuoklis atstumą pradeda matuoti, kai atstumas yra mažesnis nei 1cm, o kai naudojamas didelio atspindžio koeficiento objektas, pavyzdžiui stiklas dengtas garintu aliuminiu, atstumo matuoklis pradeda matuoti atstumą, kai atstumas yra didesnis nei 5cm. Tai yra dėl to, kad prietaiso viduje esantis stiprintuvas neturi ribotuvo ir per daug sustiprina signalą, dėl to matuoklis nebefiksuoja atstumo. Taip pat buvo pastebėta, kad matuojant nedidelius atstumus tikslumas suprastėja dėl prastos prietaiso laikinės skyros, dėl to didėjant atstumui matavimo tikslumas gerėja didelio atspindžio koeficiento objektams, o mažesnio atspindžio koeficiento objektams matavimų netikslumas nekinta, nes jų paviršius sugeria daugiau šviesos ir mažiau atspindi, dėl to labai sumažėja grįžtančių fotonų skaičius ir suprastėja matavimų tikslumas. Gamintojo teigimu šio matuoklio paklaida yra 3 – 4%, o daugumos atliktų matavimų rezultatai rodo didesnes paklaidas.

Iš vidutinio kvadratinio nuokrypio matavimų (16 pav.) buvo pastebėta, jog matavimų diapazone vidutinis kvadratinis nuokrypis išlieka pastovus, kai matuojamas atstumas iki objekto, kurio atspindžio koeficientas yra didelis, o kai matuojamas atstumas iki objekto, kurio atspindžio koeficientas yra mažesnis, vidutinis kvadratinis nuokrypis pradeda didėti laipsniškai.

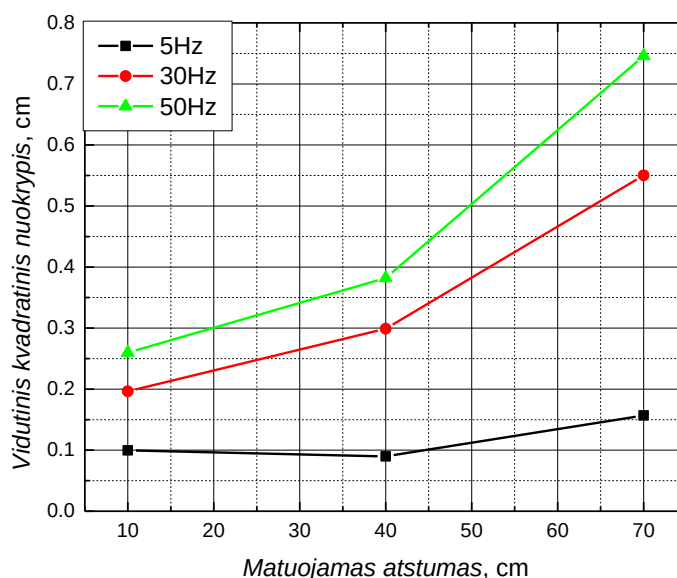


17 pav. Puslaidininkinio lazerio pluošto skėstis laipsniais



18 pav. Lazerio pluošto skėsties matavimas

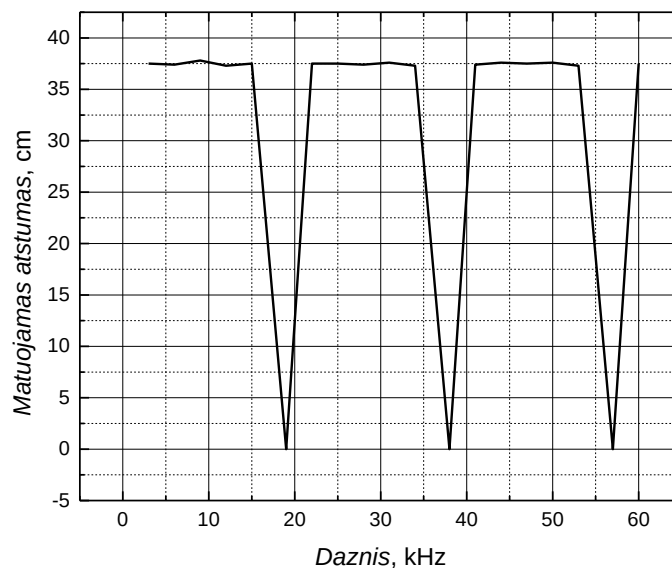
17 pav. buvo išmatuotas didžiausias kampas, kuriuo matuoja prietaisas, o tada buvo tiriama lazerio pluošto skėstis mažesniais kampais. Skėsties matavimai buvo atliekami su fotodiodu, kuris buvo prijungtas prie oscilografo (18 pav.). Fotodiodas buvo pritvirtintas prie laikiklio, kuris gali būti tiksliai stumdomas statmenai matuokliui. Atstumas tarp matuoklio ir fotodiodo buvo parinktas 7cm, nes tokiu atstumu lazerio spindulys yra aiškiai matomas oscilografe. Stumiant fotodiodą statmenai matuoklio buvo stebima, kaip kinta lazerio spindulio intensyvumas, tai išmatavus prietaisas buvo pasuktas 45° kampu per horizontalią ašį ir buvo stebima kaip pakinta intensyvumas. Matavimai buvo daromi stebint, kaip stiprėja lazerio spindulio intensyvumas mažėjant kampui ir užsirašomi rezultatai, tai buvo daroma norint pažiūrėti ar lazerio spindulio intensyvumas kinta tolygiai. Rezultatuose tai pateikta procentais, nes fotodiodo kuriama įtampa priklauso prie jo prijungtos varžos. Iš atliktų matavimų matosi jog spindulys yra netolygus. Tai yra todėl, kad prietaise naudojamas puslaidininkinis lazeris, kurio spindulys difraguoja, nes puslaidininkinio lazerio šviesos generacija ir stiprinimas pasireiškia puslaidininkio viduje, o tada šviesa yra emituojama pro mažą skylutę, todėl iš lazerio išėjęs spindulys užlinksta. Dažniausiai, dėl lengvesnio pagaminimo skylutė nebūna apvali, todėl skiriasi ir kampai, kuriais šviesa užlinksta. Taip pat galima pastebėti, kad lazerio kuriamo impulso galia didėja netolygiai, bet tokios kainos prietaise tokio lazerio pilnai pakanka. Gamintojų teigimu šie lazeriai spinduliuoja 25° kampu, matavimų metu buvo pasiektas 17° kampas. Gamintojų pateikiamu kampu nebuvo stebimas lazerio impulso galia, nes ji buvo užgožta aplinkinės šviesos



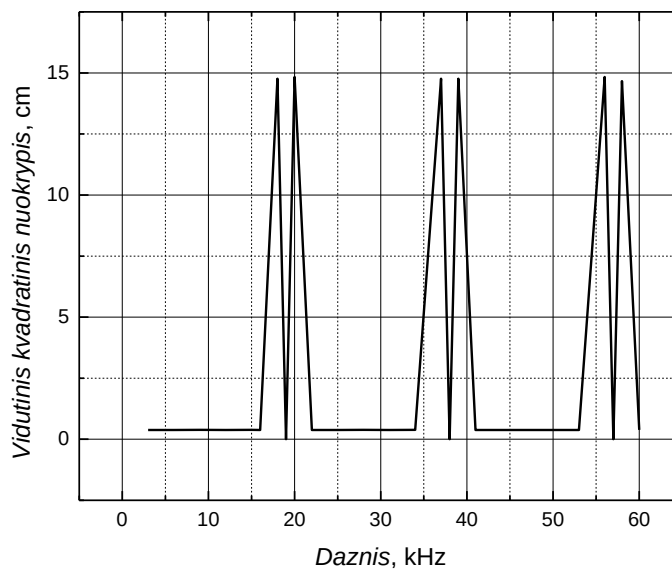
19 pav. Matavimo rezultatų vidutinio kvadratinio nuokrypio priklausomybė nuo matuojamo atstumo su 3 skirtingais matavimo režimais, kai matuojamas atstumas iki balto popieriaus lapo, pastatyto 40 cm atstumu nuo matuoklio.

19 pav. buvo matuojama atstumo matuokliu išmatuotų atstumų vidutinio kvadratinio nuokrypio priklausomybė nuo matuojamo atstumo su trimis skirtingais atstumo matuoklio režimais. Kadangi visi matavimai buvo atliekami su matuoklio gamintojų pateikta programa, kuri leidžia matavimus atlikti tik su trimis skirtingais režimais, tai buvo stebima kaip kinta vidutinis kvadratinis nuokrypis keičiant matavimo režimus. 50Hz ir 5Hz matavimo režimai

keičia vidurkinimo imčių skaičių, o 30Hz režimo atveju vidurkinimas yra toks pat, kaip ir 50Hz atveju, tik keičiasi lazerio impulsų dažnis.



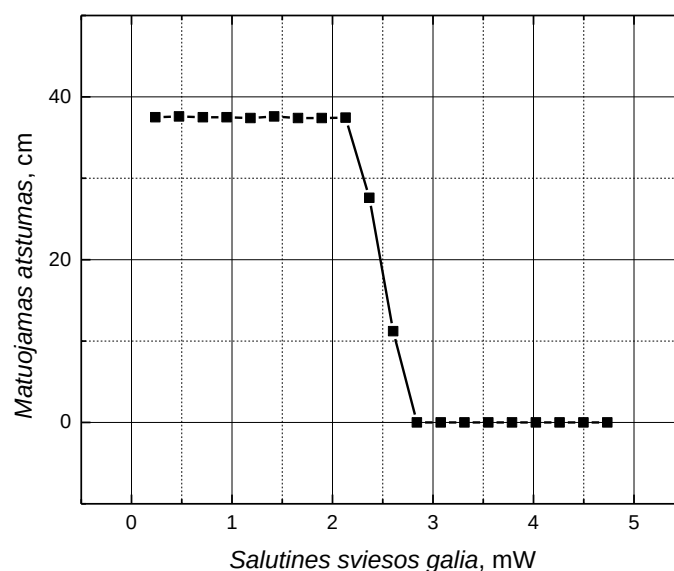
20 pav. Matuojamo atstumo vidurkio priklausomybė nuo pašalinio šviesos šaltinio dažnio, kai matuojamas atstumas iki balto popieriaus lapo, pastatyto 40 cm atstumu nuo matuoklio.



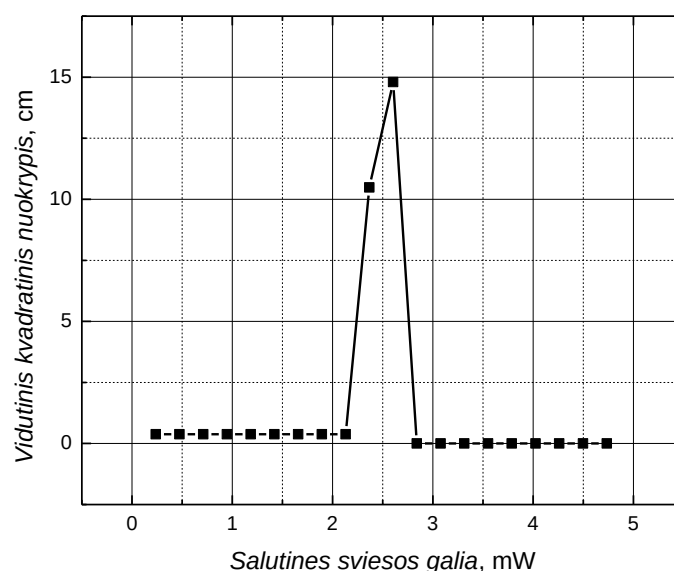
21 pav. Matuojamo atstumo vidutinio kvadratinio nuokrypio priklausomybė nuo pašalinio šviesos šaltinio dažnio, kai matuojamas atstumas iki balto popieriaus lapo, pastatyto 40 cm atstumu nuo matuoklio.

20 ir 21 pav. matavimuose su fotodiodu prijungtu prie oscilografo buvo išmatuotas VL53L0X atstumo matuoklio lazerio paduodamų impulsų dažnis, kuris yra 19,01kHz. Tada 12cm atstumu nuo matuoklio pastatytas puslaidininkinis šviesos diodas, kurio skleidžiamos šviesos bangos ilgis yra 930nm, o tai beveik atitinka atstumo matuoklio lazerio šviesos bangos

ilgį(940nm), kuris buvo pastatytas taip, kad skleistų šviesą į matuoklio fotodiodą. Po to buvo tikrinama, kaip matuojamas atstumas kinta nuo į matuoklį nukreiptos šviesos dažnio. Iš gautos priklausomybės matosi, jog kai šie dažniai arba jų harmonikos sutampa tada į fotodiodą patenka dideli šviesos kiekiai ir jis kuria labai didelę įtampą, norint, kad per didelė įtampa nesugadintų matuoklio, mikroprocesorius, esantis prietaiso viduje, sustabdo matavimus. O kai dažnis yra artimas tada matavimų rezultatuose atsiranda trūkiai, kuriuos matuoklis pateikia, kaip 0cm atstumą.

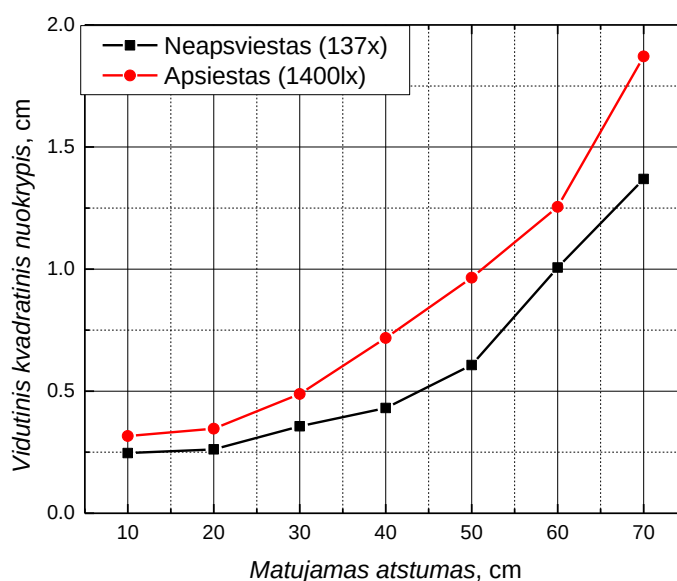


22 pav. Matuojamo atstumo vidurkio priklausomybė nuo pašalinio šviesos šaltinio galios, kai matuojamas atstumas iki balto popieriaus lapo, pastatyto 40 cm atstumu nuo matuoklio.



23 pav. Matuojamo atstumo vidutinio kvadratinio nuokrypio priklausomybė nuo pašalinio šviesos šaltinio galios, kai matuojamas atstumas iki balto popieriaus lapo, pastatyto 40 cm atstumu nuo matuoklio.

22 ir 23 pav. matavimuose buvo naudojamas tas pats šviesos diodas, kuris buvo pastatytas 12cm atstumu nuo tiriamojo matuoklio ir buvo tiriama, kaip matuoklio matuojamas atstumas kinta nuo į jį skleidžiamos šviesos galios, kuri buvo matuojama su prie oscilografo prijungtu fotodiodu. Šie matavimai buvo atliekami, kai šviesos diodas skleidžia šviesą 19,01kHz dažniu (toku pat, kaip matuoklyje esantis lazeris). Iš gautos priklausomybės matosi, kad kai į matuoklį patenka šviesa, kuri yra silpnesnė nei 2,3mW, ji neįtakoja matavimų, bet kai galingesnė, tai matuoklis nebematuoja. 23 pav. yra pastebimas didelis vidutinio kvadratinio nuokrypio šuolis, tai yra dėl to, kad tarp matavimo rezultatuose yra trūkių, kurie yra pateikiami, kaip 0cm atstumas. Dėl šių matavimo trūkių, sumažėja ir matuojamo atstumo vidurkis.



24 pav. Matavimo rezultatų vidutinio kvadratinio nuokrypio priklausomybė nuo matuojamo atstumo su dvejais skirtingais pastoviais aplinkos apšvietimais.

24 pav. buvo atliekami matavimai su dvejais skirtingais aplinkos apšvietimais. Matavimų metu buvo naudojami du apšvietimai, pirmasis buvo, kai prietaisas buvo apšviestas tiesiogine saulės šviesa (1400lx), o antrasis, kai laboratorijoje buvo uždengti langai (137lx). Iš šių rezultatų matosi, jog prietaisu matuojamų duomenų vidutinį kvadratinį nuokrypį aiškiai įtakoja aplinkos apšvietimas.

Iš matavimų galima teigti, kad matavimų tikslumas nėra didelis ir jis labai priklauso nuo objekto atspindžio koeficiento bei aplinkos apšviestumo. Taip pat šis prietaiso mažiausias matuojamas atstumas yra gana didelis, ypač didelio atspindžio koeficiento medžiagoms. Todėl jis netinkamas matuoti atstumams, kur reikia tikslumo. Jis tinkamas ten, kur tikslumas nėra reikalingas, pavyzdžiui gestų atpažinimas, artimas fokusavimas, ar kur yra labai dideli reikalavimai kompaktiškumui bei paklaida nėra kritinė, pavyzdžiui kliūčių aptikimai, trajektorijų skaičiavimai, ir jį galima klasifikuoti ne atstumo matuokliu, o kaip atstumo jutikliu. Nedidelės energijos sąnaudos (20mW) ir 20ms eilės veikimo sparta suteikia VL53L0X konkurencinį pranašumą prieš kitais principais dirbančius prietaisus.

Išvados

1. Ne visi gamintojo pateikiami parametrai paklaidų ribose atitinka eksperimentiškai išmatuotus parametrus. Nes gamintojas teigia, jog didžiausias atstumas, kurį galima matuoti yra 2m, o atliekant matavimus didžiausias buvo gautas 1,58m. gamintojų teigimu didžiausia matavimo paklaida yra 3-4 %, o eksperimentiškai matuojant mažus atstumus buvo gauta, net 50% paklaida.
2. Prietaise naudojamo puslaidininkinio lazerio skėstis eksperimentiškai gauta yra 17° , o tai paklaidų ribose atitinka gamintojų teigimą skėstį, lygią 25° .
3. Dienos šviesos poveikis VL53L0X matavimo rezultatams yra labai ženklus – matavimo rezultatų vidutinis kvadratinis nuokrypis padidėja 1,37 karto.
4. VL53L0X pagal matavimo tikslumą turėtų būti priskiriamas prie atstumo įvertinimo, o ne matavimo prietaisų. Visgi dėl itin kompaktiškos konstrukcijos, nedidelio energijos naudojimo ir spartos, šis prietaisas turi gerą perspektyvą taikymuose, kur nereikalingas tikslumas: gestų ar kliūčių atpažinime, fokusavime.

Literatūros sąrašas

- [1] K. Thyagarajan, Ajoy Ghatak, *Lasers Fundamentals and Applications Second Edition* (2011)
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>
- [3] <http://www.acuitylaser.com/sensor-performance>
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera
- [5] <http://www.machinevision.nl/fr/nouveautes/basler-and-its-time-of-flight-cameras-tof-making-3d-shape-and-volume-measurement-quick-and-easy>
- [6] https://tu-dresden.de/bu/umwelt/geo/ipf/photogrammetrie/ressourcen/dateien/elearning/documents_content/elearn_trianglesensor?lang=en
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Sonar>
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Radar>
- [9] <https://www.britannica.com/technology/radar/History-of-radar>
- [10] <http://www.bordallooutdoors.com/how-metal-detectors-work/>
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Inductive_sensor
- [12] <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/group3/b2/1e/33/77/c6/92/47/6b/DM00279086/files/DM00279086.pdf/jcr:content/translations/en.DM00279086.pdf>
- [13] http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/group0/b4/df/b1/37/b3/a9/46/b6/DM00285104/files/DM00285104.pdf/jcr:content/translations/en.DM00285104.pdf
- [14] http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/group0/34/db/be/35/77/03/4d/07/DM00300171/files/DM00300171.pdf/jcr:content/translations/en.DM00300171.pdf
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical-cavity_surface-emitting_laser
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Single-photon_avalanche_diode
- [17] S. Vengris „*Kietojo kūno elektronika*“, mokymo priemonė (Vilnius 2006-2008)

TOF laser rangefinder VL35L0X

Summary

VL35L0X is LIDAR (light detection and ranging) device that uses “Time of Flight” technology. Device is very small: 4,4mm length, 2,4mm wide and 1mm height and cheap so it can be useful almost everywhere where it needs to detect range to object. Main application for this device is user detection for computers, robotics, 1D gesture recognition, laser assisted autofocus.

TOF technology is fairly simple- there is laser, photodetector and processor. At first, laser send one light pulse towards object and sends signal to processor. Then, light pulse reflects from the object and returns to photodetector which sends signal to processor. And then, processor calculates the time difference from when light pulse was sent and returned. And finally by knowing this time it can easily calculate range to object.

The purpose of this investigation is to compare this device with most popular rangefinders and measure its parameters.

Compared with other rangefinders VL35L0X is the cheapest and smallest but it has worst accuracy compared with other laser rangefinders. Also it has slower than other laser rangefinders.

VL35L0X has a very complex programming and manufacturers does not provide necessary parameters to compile a program.

Measured parameters shows that during some measurements accuracy was worse than 3 – 4 % that manufacturers give. Also its accuracy is very depended to environment light level. Because if measurements is being measured in environment where is a lot of infrared light accuracy drops a lot.

In conclusion this device is the cheapest and the smallest of TOF rangefinders but it has quite bad accuracy. So this device can be used in when it is not necessary to be accurate and fast.