



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

Tomas Grabauskas

**PRAMONINIŲ ROBOTŲ PAIEŠKOS IR SEKIMO SISTEMŲ
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

dr. Marius Mikolajūnas

PANEVĖŽYS, 2017

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

**PRAMONINIŲ ROBOTŲ PAIEŠKOS IR SEKIMO SISTEMŲ
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Studijų programos pavadinimas (621H66001)

Vadovas

dr. Marius Mikolajūnas

Recenzentas

Projektą atliko

Tomas Grabauskas

PANEVĖŽYS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Tomas Grabauskas

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos, 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Pramoninių robotų paieškos ir sekimo sistemų tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.

Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Tomo Grabausko**, baigiamasis projektas tema „Pramoninių robotų paieškos ir sekimo sistemų tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir 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)

20..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Tomui Grabauskui Grupė PME-5

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Pramoninių robotų paieškos ir sekimo sistemų tyrimas

Anglų kalba: Research of Industrial Robot Tracking Systems

Patvirtinta 20__ m. _____ mėn. _____ d. dekanų potvarkiu Nr. _____

2. Darbo tikslas:

Ištirti paieškos ir sekimo sistemas naudojamas pramoniniams robotams.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Pramoninių robotų paieškos ir sekimo sistemos.

4. Projekto struktūra. *Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.*

1. *Išsiaiškinti pagrindines kryptis, kuriose plačiausiai naudojami pramoniniai robotai;*
2. *Išanalizuoti problemas kylančias diegiant pramoninius robotus gamyboje;*
3. *Ištirti sekimo sistemas, naudojamas pramoniniuose robotuose;*
4. *Ištirti dėl atspindžių atsirandančius trikdžius ir paklaidas, diegiant sekimo sistemą pramoniniuose robotuose.*

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

Užduotį gavau:

_____ (studento vardas, pavardė, parašas)

_____ (data)

Vadovas:

_____ (pareigos, vardas, pavardė, parašas)

_____ (data)

Grabauskas Tomas. Pramoninių robotų paieškos ir sekimo sistemų tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas dr. Marius Mikolajūnas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Valdymo technologijos

Reikšminiai žodžiai: *jutiklis, paieška, robotas, sekimas, lazerinė kamera.*

Panevėžys, 2017. 52 p.

SANTRAUKA

Darbo tikslas: ištirti paieškos ir sekimo sistemas naudojamas pramoniniams robotams.

Pramoniniai robotai atlieka pačias įvairiausias užduotis, pavyzdžiui, virinimo, perkėlimo, paletavimo, pjovimo, frezavimo. Rankiniu būdu apmokyti robotą tokiems darbams užima daug laiko, tokia sistema negali reaguoti į netikslumus ar aplinkos pokyčius, nes ekonominis efektyvumas priklausys nuo žmogaus įsikišimo kiekio. Mažoms serijinės gamybos apimtims ekonomiškai naudingiau sukurti labiau autonomiška robotizuota sistemą su integruotais jutikliais, galinčias aptikti proceso netikslumus ir nuokrypius.

Šio darbo tikslas ištirti priemones, kuriomis naudojantis pramoninis robotas taptu paprasčiau pritaikomas įvairiuose gamybos šakose. Norint užtikrinti stabilų ir saugų pramoninių robotų darbą, dažnai naudojamos įvairios paieškos ir sekimo sistemos suteikiančios informaciją robotui apie aplinkoje vykstančius procesus.

Šiame darbe ištirtos sistemos, tinkamos sekti virinimo trajektorija realiu laiku. Atlikta galimų sistemų analizė, ištirti galimi kontūrai, bei paviršiai kuriuos galima būtų nustatyti. Eksperimentinėje dalyje pateikiamos paklaidos ir nuokrypiai, kurie atsiranda sekant pasirinkta kontūrą.

Grabauskas Tomas. *Research of Industrial Robot Tracking Systems*. Master's thesis in / supervisor dr. Marius Mikolajūnas. The Faculty of Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, Kauno technologijos universitetas.

Research area and field:

Key words: *sensor, search, robots, tracking, laser camera*.

Panevėžys, 2017. 52 p.

SUMMARY

Industrial robots accomplish various tasks such as welding, transfer, palletizing, cutting, milling. Manually robot training for such work takes a long time and a system cannot respond to the inaccuracies or changes in circumstances, cost-effectiveness will depend on the amount of human intervention. Small series production volumes economically more profitable to create a more autonomous robotic system with built-in sensors that can detect process deviations and inaccuracies.

The aim of this work to investigate the means by which industrial robots become more adapted to different production sectors. To ensure stable and secure industrial robots work various search and tracking system enabling the robot information about the environmental processes.

This study analyses the system suitable for track welding trajectory in real time. Carried out possible analysis of the system, investigate the contours and surfaces that can be set. In the experimental part presented tolerances and deviation, which appears following the chosen welding circuit.

TURINYS

IVADAS	9
1. LITERATŪROS ANALIZĖ	9
1.1. Pramoniniai robotai pramonėje	9
1.2. Paieškos funkcija.....	9
1.3. Sekimo sistemos pramoniniuose robotuose	12
1.4. Realus laiko kelio korekcija	12
1.5. Realus laiko greičio korekcija	14
1.6. Korekcijos kryptis	16
1.7. Įrankio koordinačių sistema	16
1.8. Vartotojo koordinačių sistema	17
1.9. Klaidos ir neįvertinamos rizikos	18
2. TIRIAMOJI DALIS	19
2.1. Pasirinktos lazerinės kameros duomenys.....	19
2.2. Kameros tvirtinimo pozicija.....	22
2.3. Pradžios taško paieška.....	23
2.4. Korekcija realiu laiku	26
2.5. Automatinis roboto įrankio kalibravimas.....	27
2.6. Roboto komunikacija su lazerine sekimo sistema	31
2.7. Lazerinio jutiklio kalibravimas	32
2.8. Filtrų rūšys	34
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS	36
3.1. Pirmas kontūras	36
3.1.1. Pirmas eksperimentas skirtas 90° laipsnių vidiniam kampui aptikti.....	37
3.1.2. Antras eksperimentas skirtas 90° laipsnių vidiniam kampui aptikti.....	39
3.2. Antras kontūras	44
3.2.1. Trečias eksperimentas skirtas 90° laipsnių vidiniam kampui aptikti.....	42
3.3. Trečias kontūras	44
3.3.1. Ketvirtas eksperimentas skirtas išskirti aišku skylės kontūrą.....	45
3.3.2. Penktas eksperimentas skirtas išskirti teisingą skylės dydį.....	46
IŠVADOS	49
LITERATŪROS SĄRAŠAS	50

ĮVADAS

Siekiant išlaikyti konkurencingą gamybą, pramonėje vis sparčiau diegiamos automatizuotos sistemos. Siekiant mažinti gamybos kaštus ir didinti gamybos apimtys automatizuojami procesai nuolatos sudėtingėja. Automatizuotų sistemų privalumas tas, kad sumažėja gamybos kaštai taip pat sumažinamą broko tikimybė. Žmonėms nebereikia dirbti varginančio ir monotoniško darbo. Žmogaus darbo jėga ir sugebėjimai gali būti pritaikomi intelektualesnėms ir sudėtingesnėms problemoms spręsti. Nors per pastaruosius dešimtmečius procesorių skaičiavimo galia eksponentiškai išaugo ir atsirado galimybių daug plačiau taikyti pramoninius robotus. Tačiau nemažai operacijų atliekamos ganėtinai nesistemoje aplinkoje, tai labai suvaržo robotų diegimą. Lankstumo nebuvimas viena pagrindinių problemų tolimesnei robotų evoliucijai.

Šio darbo tikslas ištirti priemones, kuriomis naudojantis pramoninis robotas taptu paprasčiau pritaikomas įvairiuose gamybos šakose. Norint užtikrinti stabilų ir saugų pramoninių robotų darbą, dažnai panaudojamos įvairios paieškos ir sekimo sistemos suteikiančios informaciją robotui apie aplinkoje vykstančius procesus. Šiame darbe bus išanalizuotos priemonės, suteikiančios lankstų pramoninių robotų panaudojimą pradedant nuo paletavimo ir baigiant suvirinimu.

Projekto objektas – pramoninių robotų paieškos ir sekimo sistemos.

Projekto tikslas: ištirti paieškos ir sekimo sistemas naudojamas pramoniniams robotams.

Projekto uždaviniai

1. Išsiaiškinti pagrindines kryptis, kuriose plačiausiai naudojami pramoniniai robotai;
2. Išanalizuoti problemas kylančias diegiant pramoninius robotus gamyboje;
3. Ištirti sekimo sistemas naudojamas pramoniniuose robotuose;
4. Ištirti trikdžius ir paklaidų atsiradimo priežastis siekiant įdiegti sekimo sistemas pramoniniams robotams.

1. LITERATŪROS ANALIZĖ

1.1. Pramoniniai robotai pramonėje

Pramoniniai robotai atlieka pačias įvairiausias užduotis, pavyzdžiui, virinimo, perkėlimo, paletavimo, pjovimo, frezavimo. Rankiniu būdu apmokyti robotą tokiems darbams užima daug laiko, tokia sistema negali reaguoti į netikslumus ar aplinkos pokyčius, nes ekonominis efektyvumas priklausys nuo žmogaus įsikišimo kiekio. Mažoms serijinės gamybos apimtims ekonomiškai labiau apsimoka sukurti labiau autonomiška robotizuota sistema su integruotais jutikliais, galinčias aptikti proceso netikslumus ir nuokrypius. Sekimo sistema gali atlikti roboto judesių korekcijas, priklausomai nuo gaminio matmenų pakitimų.

Jutiklis roboto aplinkoje, tai keitiklis, kuris fizinius kintamuosius keičia į valdikliui lengviau apdorojamus kintamuosius, dažniausiai į elektrinius signalus. Parenkant jutiklius atsižvelgiama, kokioje aplinkoje jie naudojami, taip pat kokius objektus jie turės fiksuoti. Taip pat reikia atsižvelgti į tai, kokio pločio reikalinga jutiklio veikimo zona. [1]

Suvirinimas – vieną plačiausių sričių, kurioje daugiausia taikomos paieškos ir sekimo sistemos. Priklausomai nuo virinamo gaminio sudėtingumo ir keliamu suvirintos produkcijos kokybės reikalavimų, taikomos įvairaus sudėtingumo ir kainų trajektorijos sekimo sistemos.

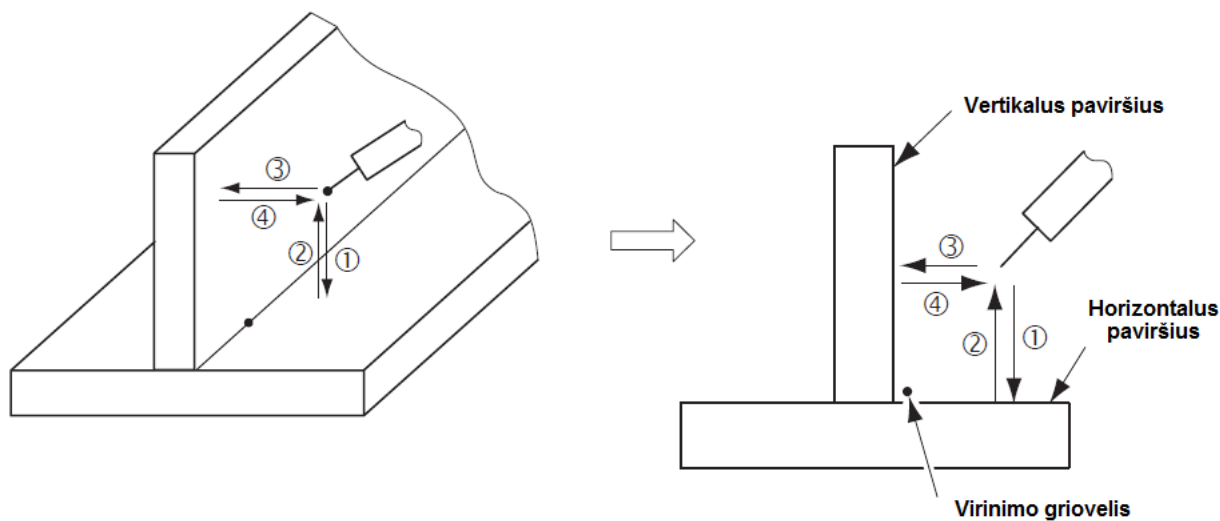
1.2. Paieškos funkcija

Naudojant šią funkciją, robotas juda priklausomai nuo jutiklio išvesties signalo. Robotas sustoja priklausomai nuo pasirinktos jutiklio būsenos. Jutiklis stebi roboto judėjimą ir jį stabdo pasikeitus įėjimų būsenai. Pavyzdžiui aptinkant objektą, kurio padėtis yra neaiški. Taip pat surasti virinimo griovelio pradžią arba visą virinimo trajektoriją atitinkamai atliekant paiešką keliuose taškuose. Tokios sistemos labai tinka virinti trumpas siūles, kurias virinti gaminyje nespėja išsikraipyti. [2] Pirmame paveiksle vaizduojamas virinimo griovelio paieškos principas. Šio atveju paieška atliekama su virinimo viela, tačiau galima naudoti ir optinius jutiklius arba lazerius. Pradžioje degiklis pastatomas į pradinę paieškos padėtį:

1. surandamas horizontalus paviršius ir įsirašoma pozicija;
2. grįžtama į tarpinę paieškos padėtį;
3. surandamas vertikalus paviršius ir įsirašoma pozicija;
4. grįžtama į tarpinę paieškos padėtį.

Žinant plokštumų padėti galima apskaičiuoti, kurioje vietoje yra virinimo griovelis, įvertinus apskaičiuota skirtumą galima pakeisti roboto trajektoriją. Tokiu būdu galima nustatyti pradžios tašką taip pat galima surasti kelis taškus, įvertinus jų paklaidas robotas gali judėti koreguota trajektorija.

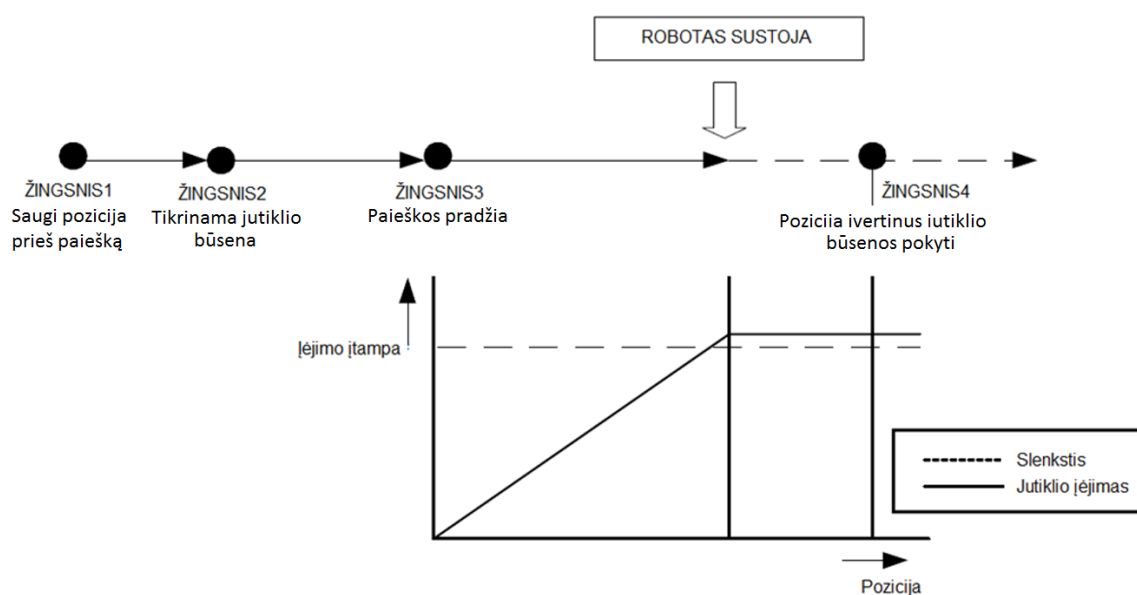
Tokia sistema tinka tada, kai nereikalingas didelis greitis, tokiu atvejų robotas pakeičia žmogų, kuris dirba ypač pavojingomis sąlygomis.



1.1 pav. Virinimo griovelio paieška [2]

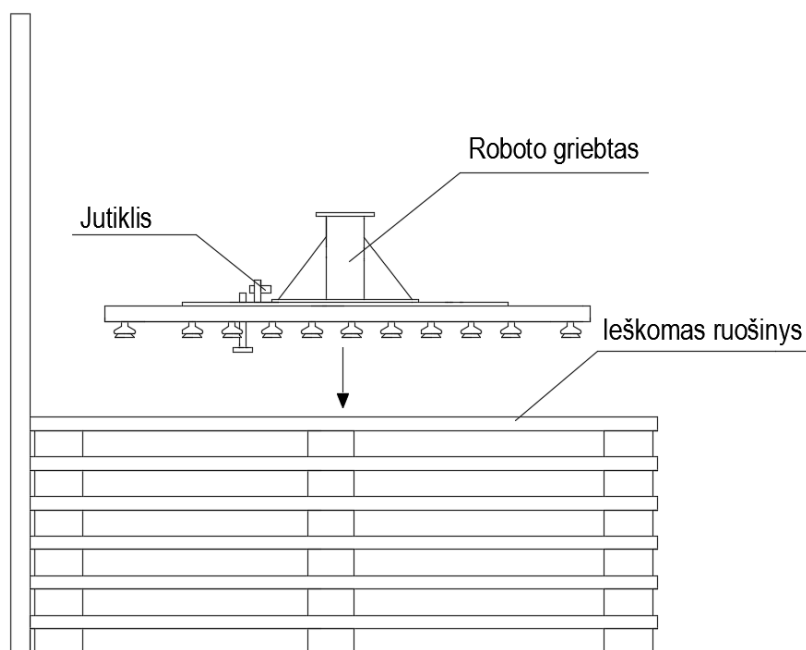
Antrame paveiksle vaizduojama jutiklio signalo priklausomybė nuo roboto pozicijos. Paiešką galima suskirstyti į keturis žingsnius.

1. Robotas sustoja į pradžios tašką prieš paiešką;
2. Patikrinama jutiklio būseną;
3. Pradedama paieška;
4. Pasikeitus jutiklio būsenai robotas sustoja, įvertinus esama pozicija tęsiamas roboto darbas.



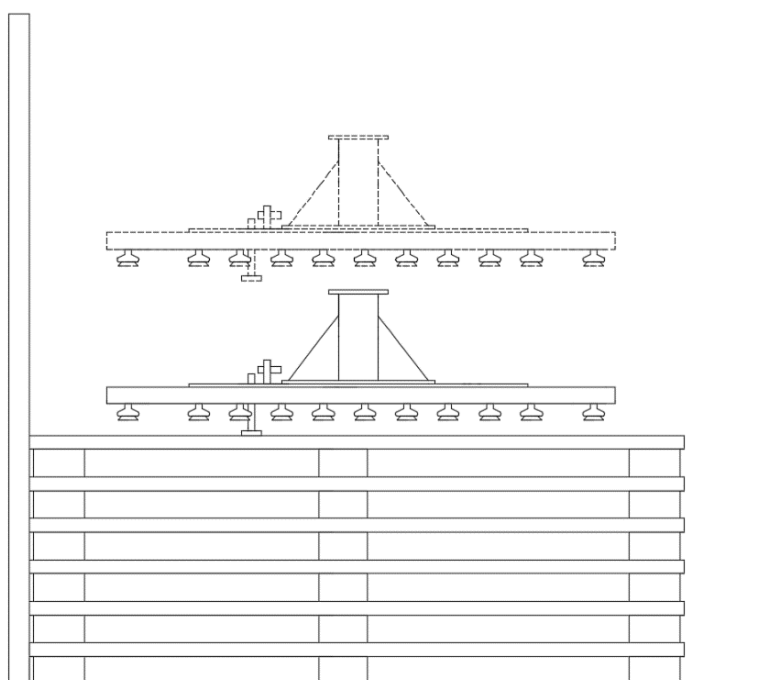
1.2 pav. Jutiklio signalo priklausomybė nuo roboto pozicijos [2]

Paieškos funkcija taip pat galima naudoti siekiant surasti tam tikrą objektą, kurio pozicija nėra aiški. Trečiame paveiksle vaizduojama pradinė paieškos padėtis, nuo kurios pradedama tikrinti jutiklio būseną.



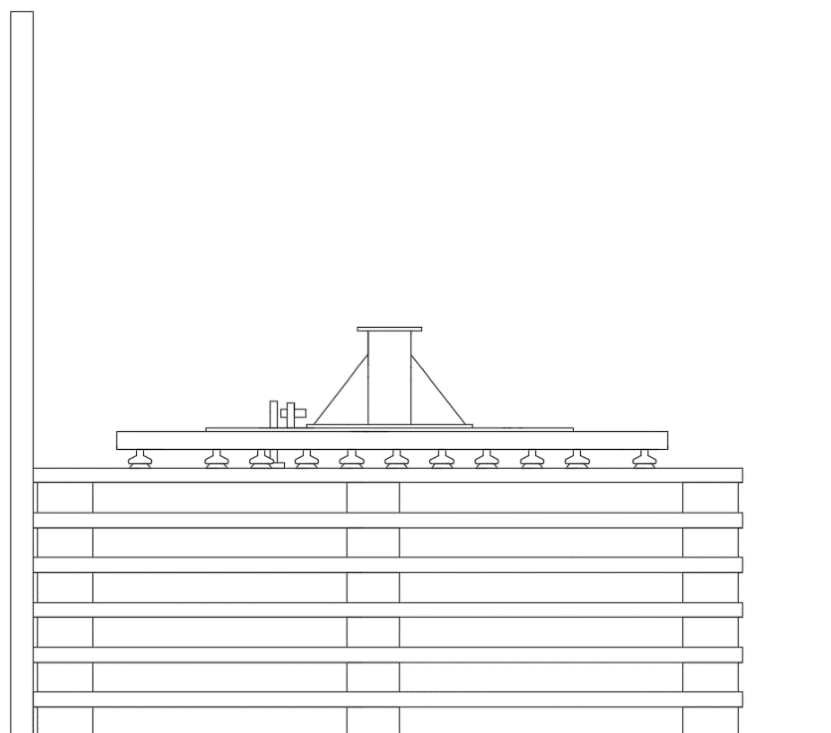
1.3 pav. Pradinė paieškos pozicija

Ketvirtame paveiksle vaizduojamas roboto judėjimas nustatyta kryptimi, kai pasikeičia jutiklio signalas į roboto atmintį įrašoma pozicija.



1.4 pav. Jutiklio būsenos pokytis

Penktame paveiksle vaizduojamas paskutinis ciklas, nustatant objekto poziciją. Pagal apskaičiuota skirtumą, tarp jutiklio signalo pasikeitimo ir pozicijos prisiurbiant gaminį.



1.5 pav. Objekto paėmimo pozicija

1.3. Sekimo sistemos pramoniniuose robotuose

Jutiklio duomenys koreguoja roboto kelią ir greitį, panaudojant jutiklį pavyzdžiui poslinkio matavimui arba sukimo momento matavimui. Įvairios kontrolės priemonės yra atliekamas nuskaitant įėjimo įtampą. Jutikliai gali turėti įvairias kontrolės funkcijas, kurias galima taikyti priklausomai nuo roboto darbo pobūdžio. [3]

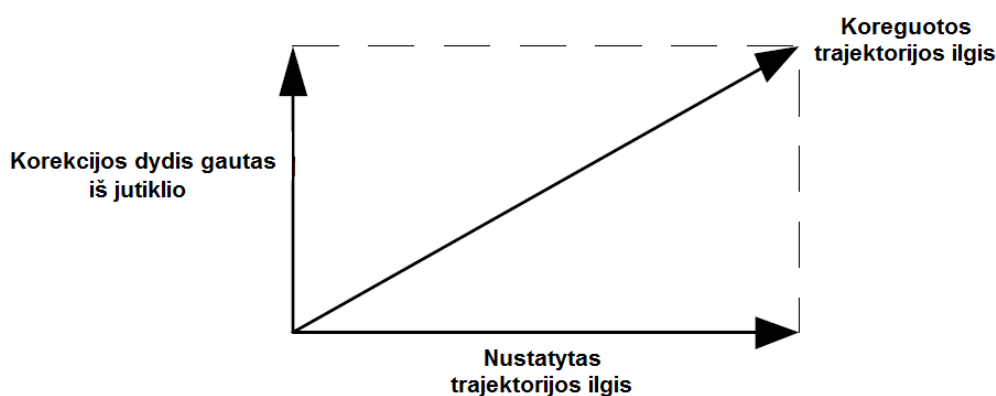
- Realus laiko kelio korekcija;
- Realus laiko greičio korekcija;
- Objekto paieška.

1.4. Realus laiko kelio korekcija

Realus laiko kelio korekcijos funkcija pataiso roboto judesio trajektoriją, pagal gautus signalus iš jutiklio. Paprastai robotas juda nustatyta trajektorija, tačiau dėl ruošinio iškraipymo ar poslinkio reikalinga koreguoti roboto trajektoriją. Naudojant šį būdą, jutiklis gali aptikti iškraipytas pozicijas realiame laike ir iškart koreguoti roboto trajektoriją. Viena plačiausiai taikomu sričių yra virinamos siūlės sekimas, leidžiantis robotui automatiškai sekti virinimo kelią, prisitaikant prie

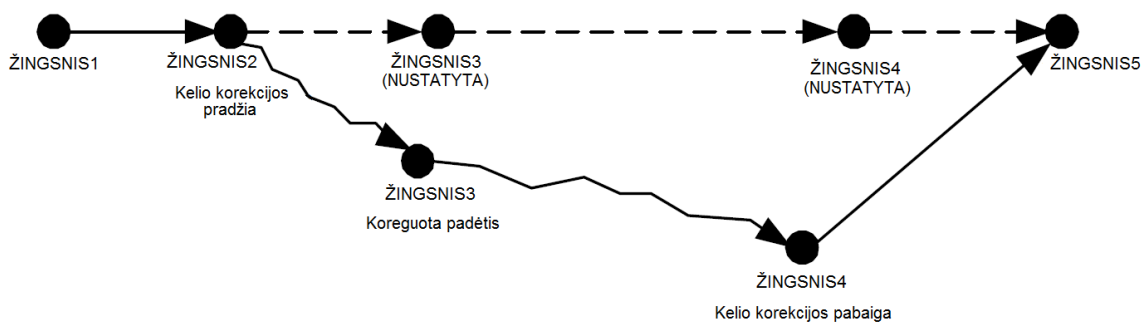
sekamo kontūro iškraipymų virinimo metu. Dažniausias parametras, lementis gaminio pakitimus, yra šiluma, dėl kurios, plečiantis metalui atsiranda virinamos trajektorijos iškraipymai ir neprognozuojamų tarpų atsiradimas. Galima naudoti įvairias sekimo priemones nustatyti šiems iškraipymas, pavyzdžiui optinio, ultragarsinio skanavimo. [4]

Realaus laiko kelio korekcijos funkcija pataiso roboto kelią, remiantis gautu jėjimo signalu. Norint gauti sklandų roboto judesį, koreguojamame kelyje, robotas juda nustatytais žingsniais, o pagal gauta signalą iš jutiklio yra nustatoma reali trajektorija, kuria turētu judėti robotas. Gauta reikšmė iš jutiklio paverčiama į koordinates tinkamas robotui sulygininti su apmokyta judesio trajektorija. Šios dvi reikšmės yra sulyginamos, o remiantis gautu skirtumu apskaičiuojamas vidurkis, pagal kurį perstumiama roboto trajektorija, grafikė išraiška vaizduojama šeštame paveiksle.



1.6 pav. Judesio korekcijos dydis

Septintame paveikslėlyje pateikiama schema, apibūdinanti kelio korekciją. Robotui priartėjus prie antro žingsnio pradedama tikrinti nustatyta trajektorija ir atsiradus nukrypimas tolimesni žingsniai yra perstumiami. Ketvirtame žingsnyje baigiama tikrinti jutiklio duomenys, tada robotas grįžta į nustatyta žingsnį. Pirmas ir penktas žingsniai yra roboto priėjimas ir atsitraukimas nuo apdorojamo gaminio. [5]



1.7 pav. Roboto judėjimo trajektorija [5]

Analoginio signalo įėjimo reikšmė yra apskaičiuojama pagal žemiau pateiktas formules:

$$V > V_{nosens} + V_{offset};$$

$$C_{out} = R \cdot (V - V_{nosens} - V_{offset}). \quad (1)$$

$$V_{nosens} + V_{offset} > V > -V_{nosens} + V_{offset};$$

$$C_{out} = 0. \quad (2)$$

$$V > -V_{nosens} + V_{offset};$$

$$C_{out} = R \cdot (V + V_{nosens} - V_{offset}). \quad (3)$$

čia:

C_{out} - korekcijos dydis;

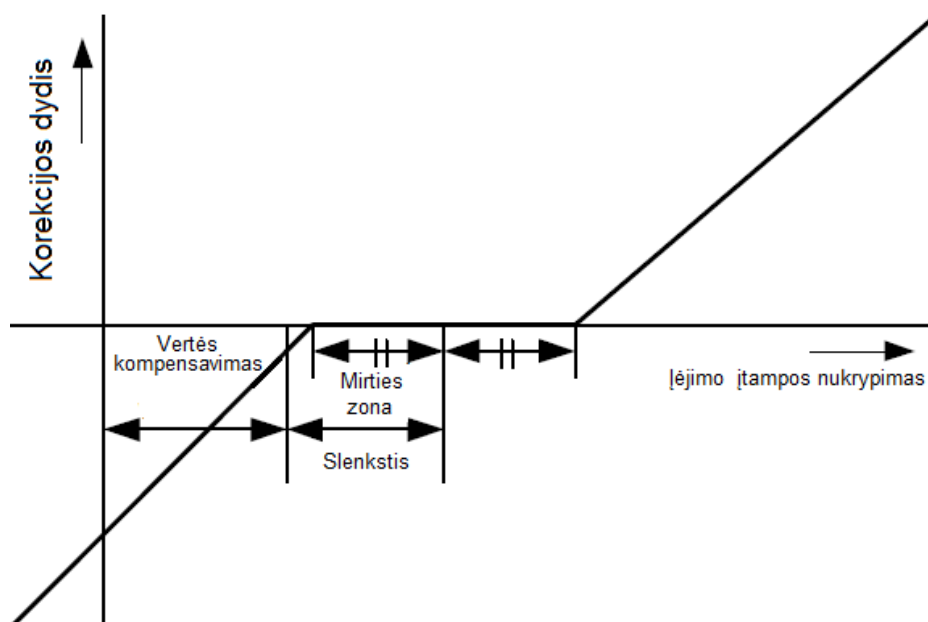
R - skiriamoji geba;

V - įėjimo įtampa;

V_{nosens} - mirties zona;

V_{offset} - kompensuota vertė.

Aštuntame paveiksle pateikiamas grafikas vaizduojantis, matavimo rezultatų priklausomybę nuo korekcijos dydžio.

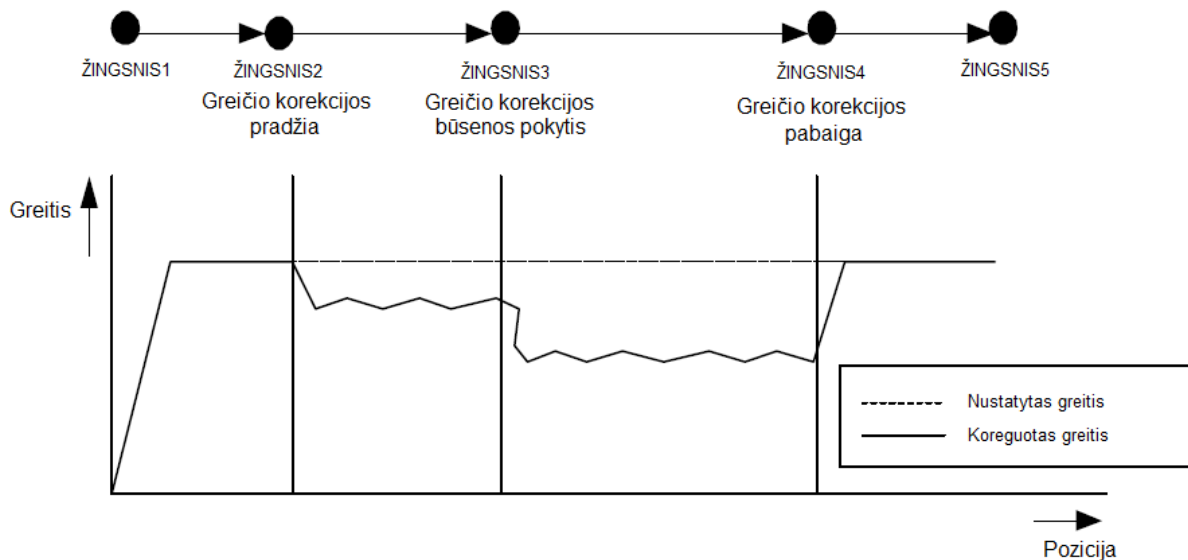


1.8 pav. Matavimo rezultatų priklausomybė nuo korekcijos dydžio

1.5. Realus laiko greičio korekcija

Realaus laiko greičio korekcijos funkciją pataiso robotų judėjimo greitį remiantis gautais signalais iš jutiklio. Paprastai manipulatorius juda nustatytu greičiu, tačiau pasikeitus sąlygoms, pavyzdžiui kampui arba tarpui, robotų greitis gali būti didinamas arba mažinamas. [6] Devintame

paveiksle grafikas vaizduoja greičio pokytį nuo antro žingsnio gaunant analoginį signalą iš jutiklio. Greitis gali būti sumažintas arba padidintas, jeigu dėl roboto kelio korekcijos pasikeitė roboto trajektorija.



1.9 pav. Greičio priklausomybė nuo pozicijos

Perreguliavimo santykis apskaičiuojamas, pagal žemiau pateiktas formules:

$$V_{in} > V_{nosens} + V_{offset};$$

$$O_{out} = 100. \tag{4}$$

$$V_{nosens} + V_{offset} > V_{in} > -V_{nosens} + V_{offset};$$

$$O_{out} = R \cdot (V_{in} - V_{nosens} - V_{offset}) + 100. \tag{5}$$

$$V_{in} > -V_{nosens} + V_{offset};$$

$$O_{out} = 0. \tag{6}$$

Čia:

O_{out} - Perreguliavimo santykis;

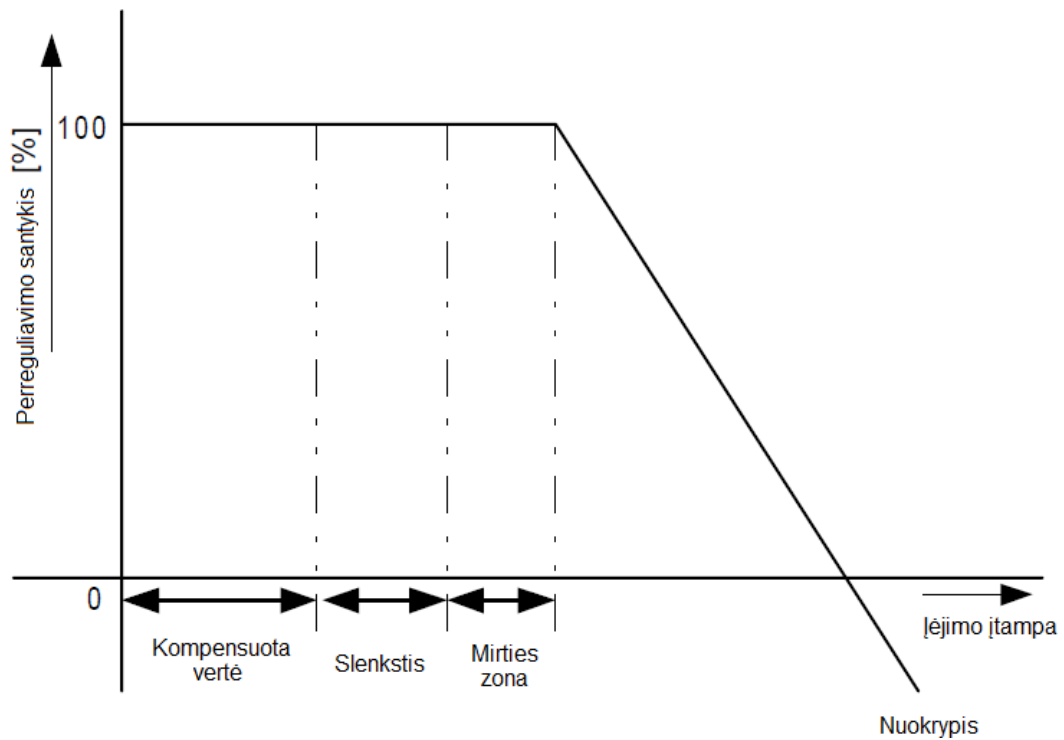
R - Skiriamoji geba;

V_{in} - Įėjimo įtampa;

V_{nosens} - Mirties zona;

V_{offset} - Kompensuota vertė.

Dešimtame paveiksle pateikiamas grafikas, kuris vaizduoja greičio priklausomybę nuo matavimo rezultatų.



1.10 pav. Greičio priklausomybę nuo matavimo rezultatų

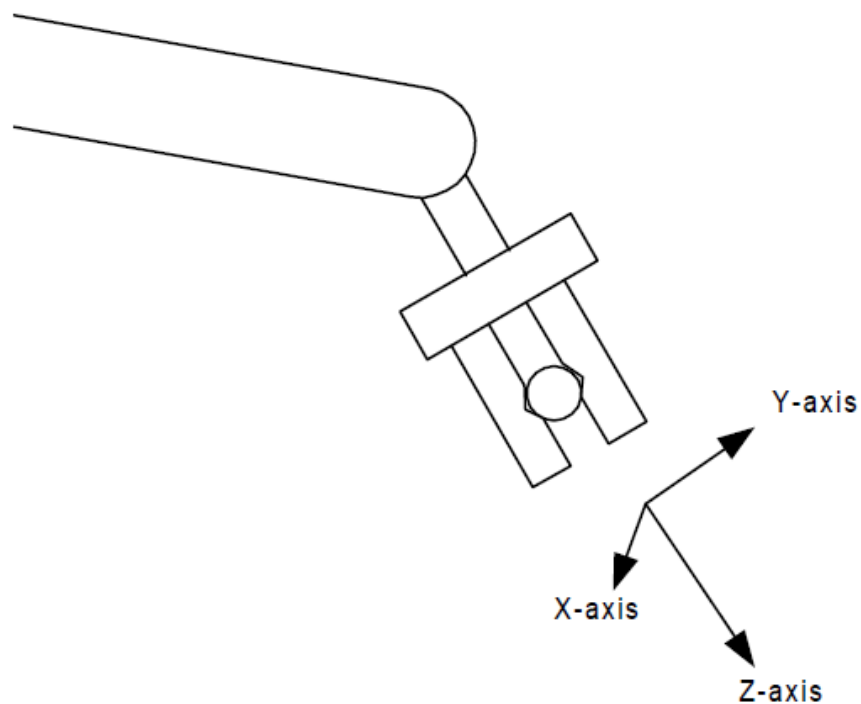
1.6. Korekcijos kryptis

Kryptį, kuria bus koreguojama roboto trajektoriją galima nustatyti dviem būdais:

- Įrankio koordinačių sistemoje;
- Vartotojo koordinačių sistemoje.

1.7. Įrankio koordinačių sistema

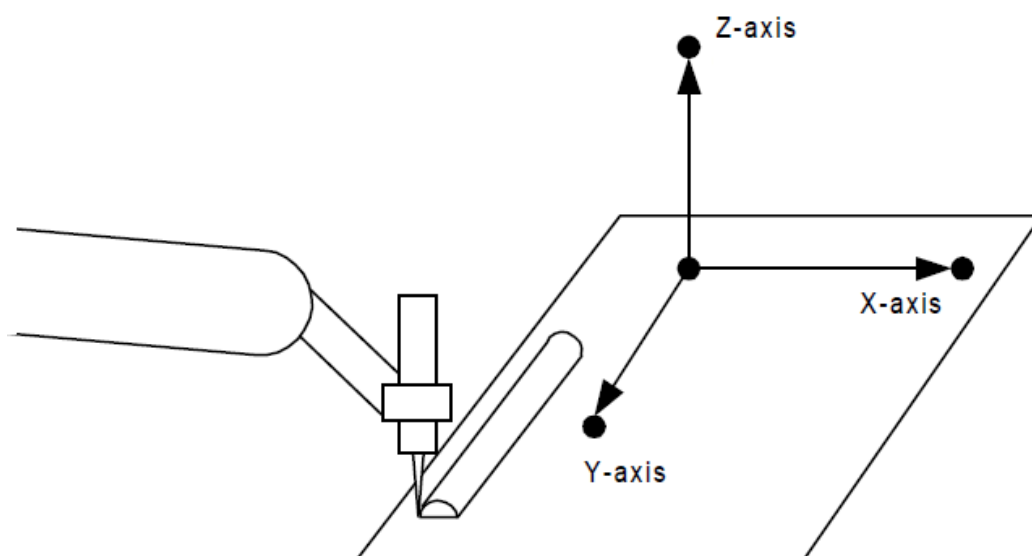
Atskaitos tašku gali būti naudojamas įrankis pritvirtintas prie roboto flanšo. Pozicija koreguojama remiantis Dekarto koordinačių sistema, pasirenkant vieną iš šių krypčių: X-ašies, Y-ašies arba Z-ašies. Vienuoliktame paveiksle pateikiama įrankio koordinačių sistemos schema.



1.11 pav. Įrankio koordinačių sistema

1.8. Vartotojo koordinačių sistema

Roboto kelio korekciją sudaro du atskaitos taškai. Vienas yra sukuriamas programuojant priklausomai nuo objektų išdėstymo koordinačių sistema gali būti pasvirusi, bet koku kampu priklausomai nuo situacijos. Kitas atskaitos taškas yra surandamas jutiklio. Dvyliktame paveiksle pateikta schema vaizduojanti vartotojo koordinačių sistemą.[7]



1.12 pav. Vartotojo koordinačių sistema

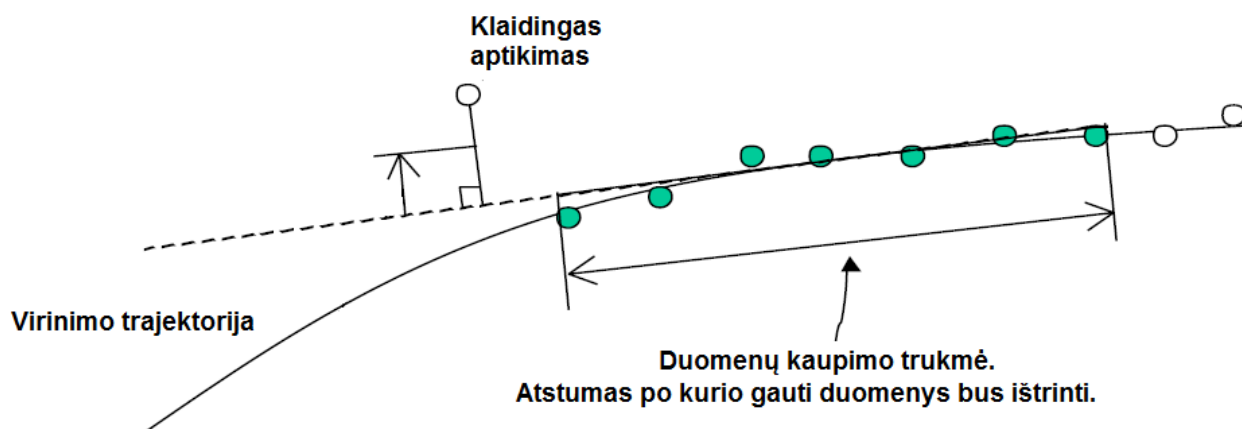
1.9. Klaidos ir neįvertinamos rizikos

Nors ir turint puikų kontūro atpažinimo algoritmą, tačiau vis tiek išlieka rizika gauti klaidingą reikšmę, dėl kurios, gali atsirasti nepamatuoti nuokrypiai, į kuriuos suragavus robotas gali pakeisti trajektoriją, kuri gali pakenkti produkcijai arba pačiam robotui, todėl labai svarbu įvertinti didžiausias leidžiamas paklaidas, kurių negali viršyti robotas.

Jeigu vienas taškas pasitaikė visiškai netinkamoje trajektorijoje, tai galima suprasti kaip klaidingą tašką ir į jį nekreipti dėmesio, tačiau reikia įvertinti pokytį, kuris jokiais būdais negalėtų atsirasti sekant objektą normaliomis sąlygomis taip pat koks galimas netinkamų taškų skaičius leistu tęsti darbą nenutraukus tolimesnio sekimo.

Dingus ieškomam kontūrai galima tęsti darbą atstumu lygiam nuo lazerinės kameros spindulio iki roboto įrankio centro. Jeigu kontūras neaptinkamas per šį atstumą sekimas yra nutraukiamas.

Sudarant lazerinės kameros algoritmą taip pat galima numažinti zoną kurią fiksuoja lazeris. Tokiu atveju galima išvengti nepageidaujamų kontūro aptikimo galimybių



1.13 pav. Klaidingo taško atsiradimo grafikas

2. TIRIAMOJI DALIS

Šiame skyriuje analizuojamos lazerinės kameros paieškos ir sekimo galimybės. Nagrinėjamos galimybės sukurti autonomišką sistemą. Tiriamos automatinės roboto įrankio kalibravimo galimybės taip pat atstumo tarp lazerinės kameros ir roboto įrankio nustatymas. Aprašomas algoritmas vaizduojantis pradžios taško paiešką. Nagrinėjami pasirinktos lazerinės kameros ir valdymo kontrolierio duomenys. Atlikta „POWER-TRAC/SHR“ kameros ir „YASKAWA MOTOMAN DX200“ roboto paieškos sistemos struktūros analizė.

2.1. Pasirinktos lazerinės kameros duomenys

„POWER-TRAC/SHR“ tai didelio greičio skaitmeninė lazerinė kamera, kuri turi didelę rezoliuciją, programavimo aplinka leidžia matyti lazerio būseną, didelis kadrų dažnis pilna raiška galima pasiekti 100 Hz. Šioje kameroje integruota dviejų spalvų kamera. Bendra kameros duomenų stebėseną atliekama nuotoliniu būdu. Ši kamera puikiai tinka atlikti roboto trajektorijos korekciją realia laike taip pat su ja galima atlikti gaminio surinkimo kokybės patikrą, bei nustatyti gaminio poziciją esant situacijai, kai reikia atpažinti gaminio modelį ir jo įtvirtinimo padėtį. Pirmoje lentelėje pateikiamos „POWER-TRAC/SHR“ lazerinės kameros techninės specifikacijos, o pirmame paveiksle pateikiamas lazerinės kameros vaizdas.

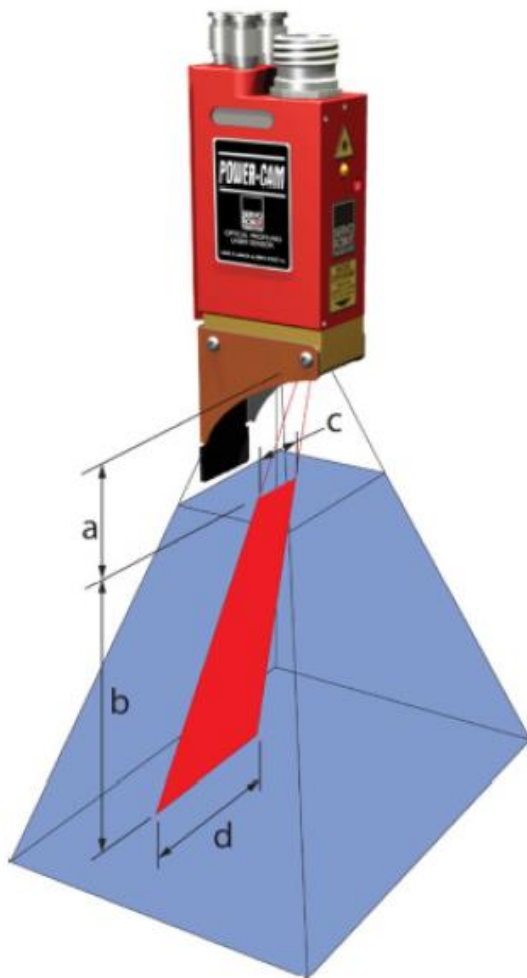
2.1 lentelė

POWER-TRAC/SHR kameros duomenys

Lazerio klasė	III b
A: Mažiausias skenavimo atstumas (mm) (a)	70
B: Didžiausias skenavimo atstumas (mm) (b)	140
Lazerio matymo lauko plotis	
Artimiausia plokštuma (mm) (c)	27
Tolimiausia plokštuma (mm) (d)	76
Vidutinė ryškumo rezoliucija (mm)	0.09
Skanavimo dažnis pilna raiška	100 Hz
Išmatavimai (mm)	33x58x94
Svoris (g)	475
Lankstus roboto kabeliai	Yra
Kadrų skaičius per sekundę	250
Kabelių ilgis	5 m

III b lazerio klasės reikšmė:

0,5 W arba mažesnė galia. Tiesioginis lazerio spindulys kelia pavojų žmogaus akims. Stebėti lazerio spindulio atspindį yra saugu.



2.1 pav. „POWER-TRAC/SHR“ lazerinės kamera

„POWER-TRAC/SHR“ lazerinės kameros valdiklio specifikacijos pateikiamos antroje lentelėje, kameros valdymo kontrolerio vaizdas pateikiamas antrame paveiksle.

POWER-TRAC/SHR kameros valdiklio duomenys

Ypatybė	Aprašymas
Įėjimai	24 VDC
HMI kanalas	Ethernet 10/100 Mbits
Roboto kanalas	Ethernet 10/100 Mbits
Avarinio stabdymo įėjimas	Išorinis įėjimas lazerio saugumui
Kameros aušinimo kontrolės išėjimas	Naudojama su SHR kamera oru aušinama sistema
Išmatavimai (mm)	300x300x150
Svoris	8 kg
Darbinė temperatūra	5-40 °C
Dviejų spalvų vaizdo išėjimas	Standartinė BNC komunikacija su analoginiu vaizdo išėjimu (NTSC-M vaizdo formatas)



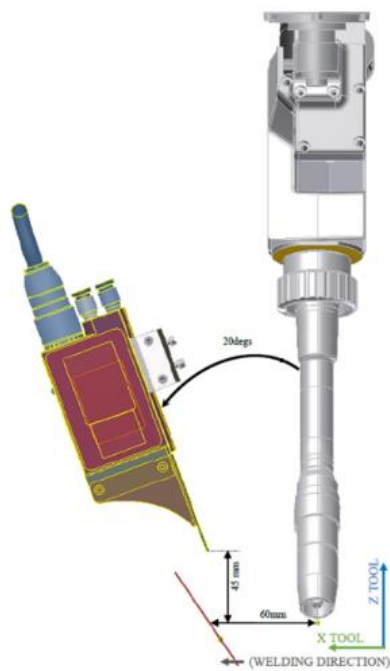
2.2 pav. „POWER-TRAC/SHR“ lazerinės kameros valdymo blokas

Norint konfigūruoti kameros parametrus ir stebėti sistemos darbą realiaame laike naudojama „WeldCom“ programinė įranga, su ja galima atlikti:

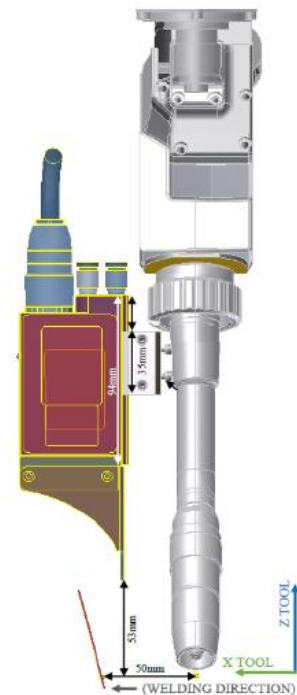
- Kameros nustatymų reguliavimą;
- Nustatyti aptinkamų objektu struktūrą;
- Realio laiku kameros skenuojama kontūrą;
- Atlikti sekimo parametru reguliavimą;
- Stebėti anksčiau užregistruotas reikšmes;
- Stebėti skenerio pateikiamus duomenys realiaame laike.

2.2. Kameros tvirtinimo pozicija

Priklausomai nuo aplikacijos, kurioje bus naudojamas jutiklis, reikalingas tinkamas jutiklio tvirtinimo kampo ir atstumo nuo degiklio iki lazerio spindulio parinkimas. Esant blizgiam paviršiui kameros kampas gali svyruoti nuo 0°-20° laipsnių kampo, roboto įrankio atžvilgiu, vaizdas pateiktas trečiame paveiksle jutiklio kampas parenkamas pagal medžiagos blizgumą ir savybes. Esant matiniam paviršiui jutiklis tvirtinamas statmenai, roboto įrankio atžvilgiu, pateikta ketvirtame paveiksle, tokiu atveju nesusidaro pašalinai nepageidaujami atspindžiai, kurie trukdytu nustatyti pageidaujama kontūrą. Jutiklio atstumas nuo degiklio nusako reakcijos atstumą, kuri įveikias robotas pakeis trajektoriją arba sureaguos į tarpo pakitimus. Minimalus atstumas, kuriuo galima montuoti jutiklį yra 20 mm, mažesnis atstumas neužtikrina, kad degant lankui jutiklio spindulys patikimai nustatys kontūrą. Taip pat pageidaujama neviršyti 100 mm atstumo, nes tokiu atveju reakcija į pakitimus būtų pavėluota.

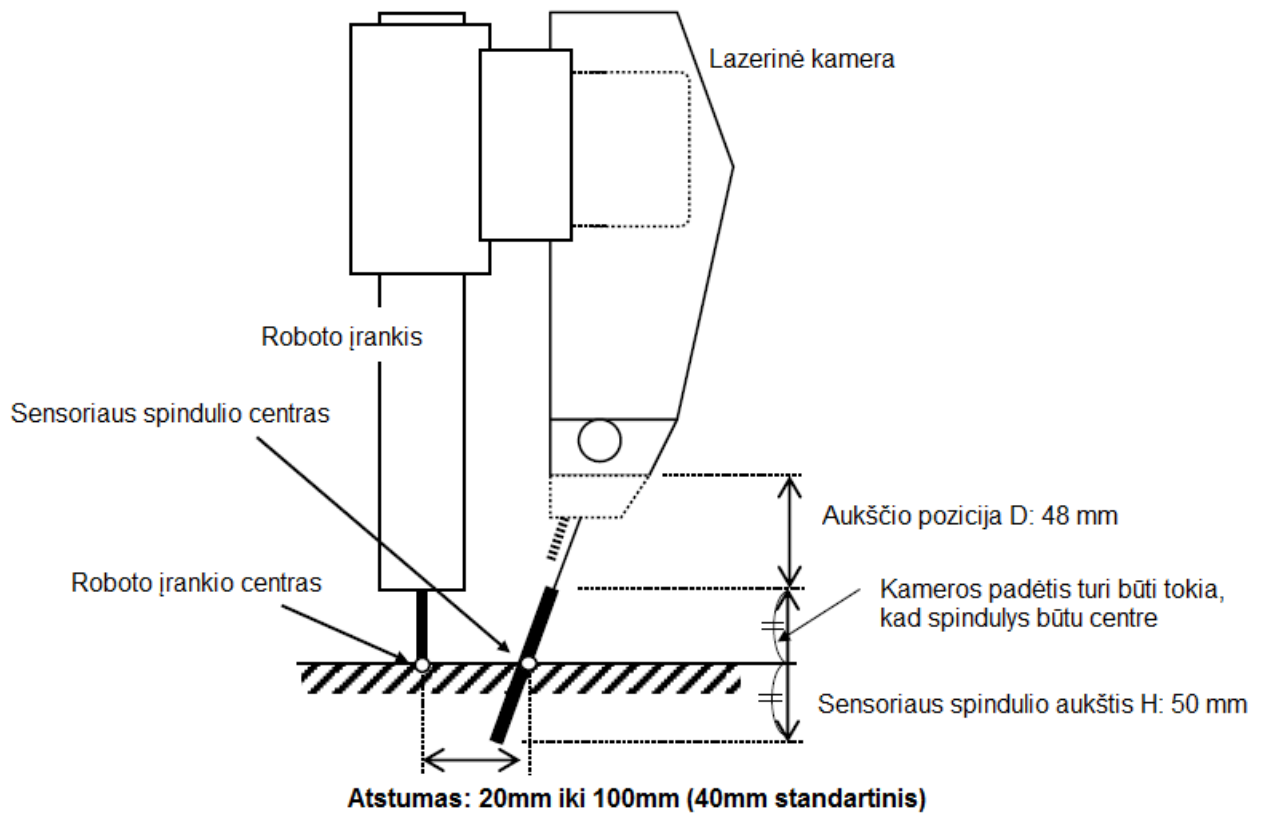


2.3 pav. Blizgus paviršius



2.4 pav. Neblizgus paviršius

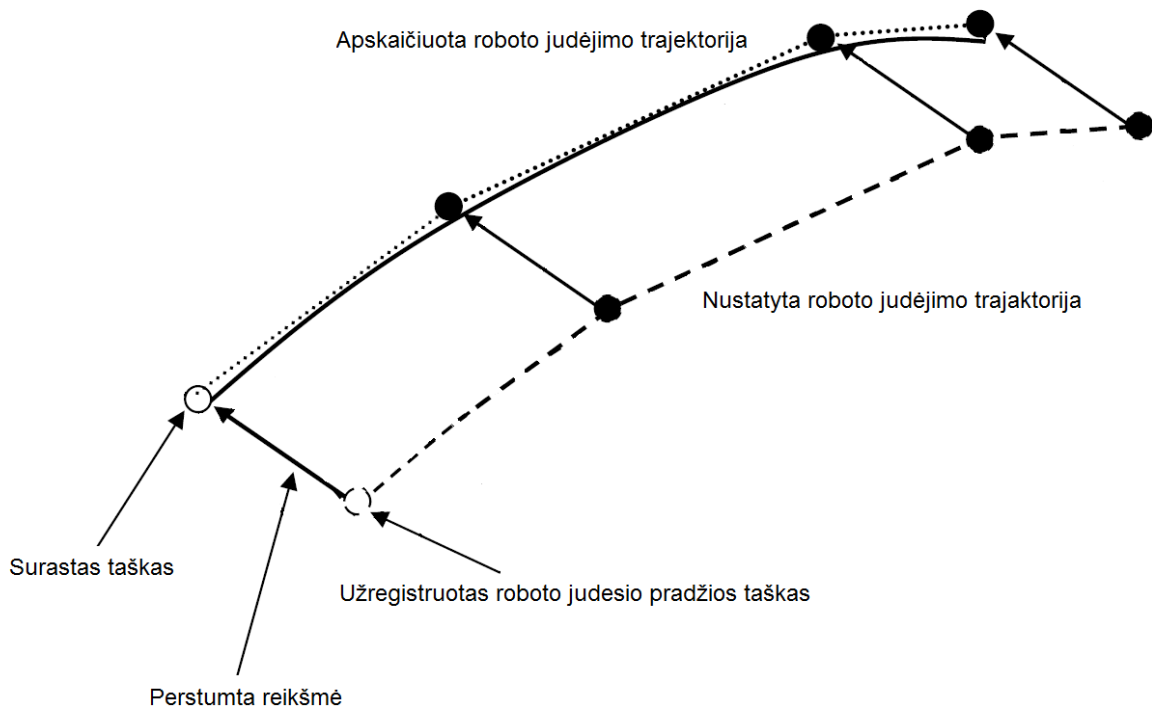
Nustatant atstumą tarp jutiklio matymo lauko ir roboto įrankio, šį atstumą reikia nustatyti remiantis jutiklio techninėmis specifikacijomis. Reikia parinkti tokį atstumą, kuris būtų minimalus, aptikti ieškomą objektą. Labai svarbu parinkti tokia kameros padėti, kad virinimo metu kylantis garai ir esant metalo taškymuisi jie nepažeistu kameros lęšio. Penktame paveiksle pavaizduota kameros montavimo schema.



2.5 pav. Kameros montavimo schema

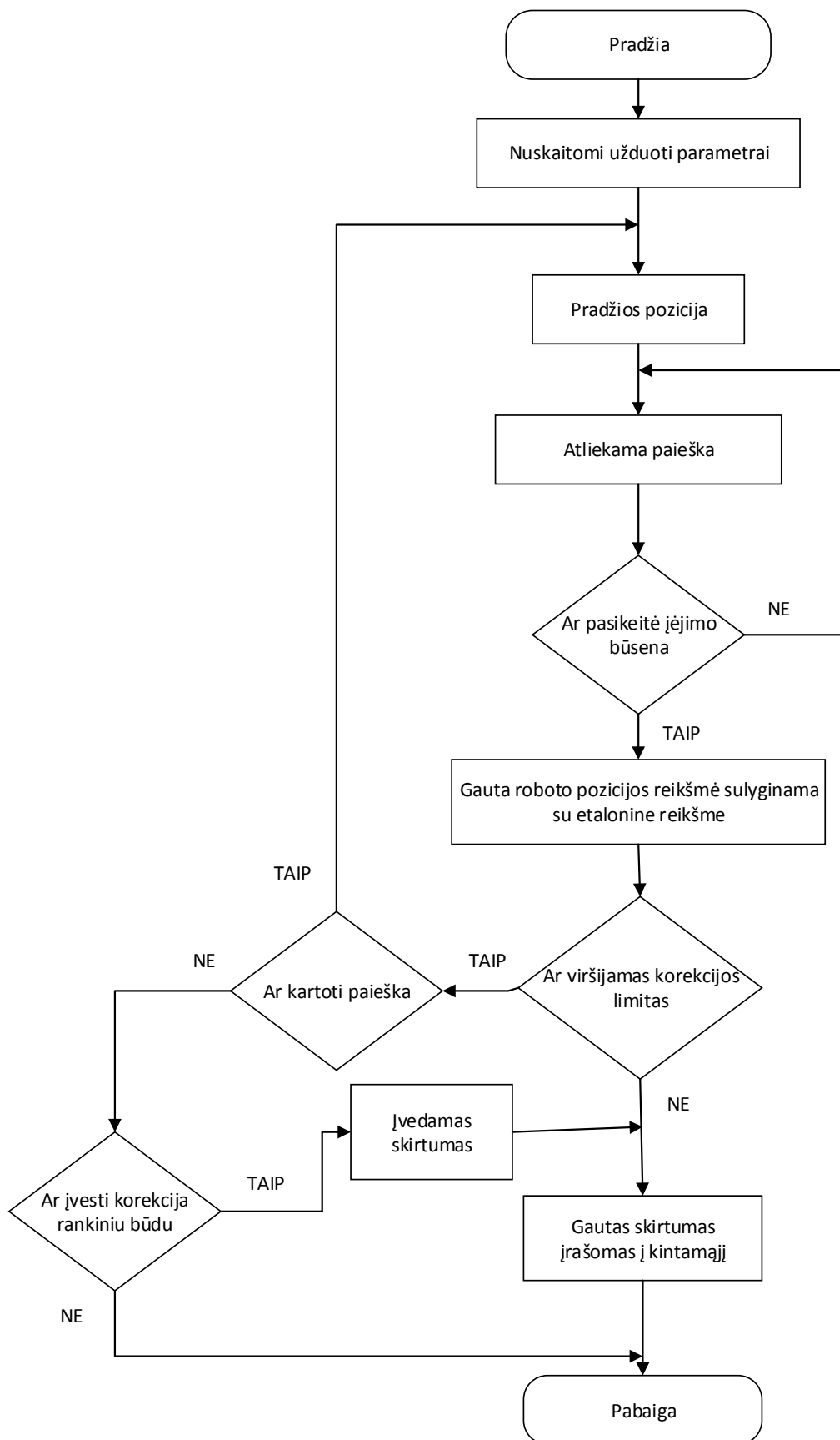
2.3. Pradžios taško paieška

Lazerinė kamera aptinka pradžios tašką, šio taško reikšmės yra palyginamas, tarp nurodytos konstantos ir matuotos reikšmės. Apskaičiuojamas skirtumas, kurį panaudojus, roboto judesiai pastumiami atitinkama koordinate, gauta po matavimo. Jeigu šis skirtumas neviršija užduotos vertės, kuri gali priklausyti nuo roboto darbo ribų arba gaminio surinkimo kokybės. Jeigu skirtumas neviršija nustatytos reikšmės, roboto pozicijos yra koreguojamos, kitu atveju galima pakartoti paiešką arba duoti nurodymą operatoriui apie nekokybišką produktą. Šeštame paveiksle pateikiama schema, nurodanti, kaip gali pasikeisti roboto trajektorija atlikus matavimą.



2.6 pav. Roboto trajektorijos korekcija po paieškos

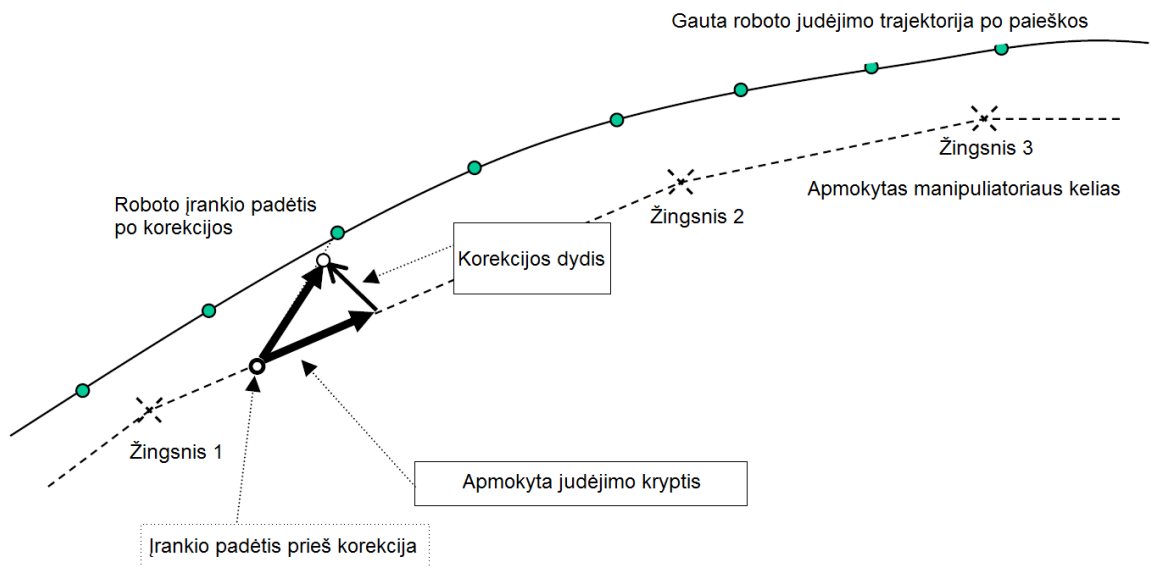
Septintame paveiksle pateikiamas algoritmas, aprašantis paieškos procedūrą. Programos pradžioje priskiriami parametrai aprašantys tolesnį darbą, parenkamas roboto įrankis, kintamasis į kurį įrašoma gauta reikšmė, nurodoma paieškos kryptis. Robotas juda į pozicija prieš paieškos pradžią. Atliekama paiešką tikrinama įėjimo būseną, neįvykus paieškai, o robotui pasiekus pabaigos tašką sistema sustoja galimi du veiksmai kartoti paiešką arba įvesti gautą reikšmę rankiniu būdu. Įvykus paieškai gauta reikšmė sulyginama su etalonine paieškos reikšme, skirtumas įrašomas į pasirinkta kintamąjį. Jeigu gauta reikšmė viršija nustatyta paieškos skirtumą, galima kartoti paiešką arba įvesti teisingą reikšmę rankiniu būdu. Gautas skirtumas atsimenamas ir vėliau panaudojamas kitoje paprogramėje atliekant nurodyta darbą su robotu.



2.7 pav. Paieškos algoritmas

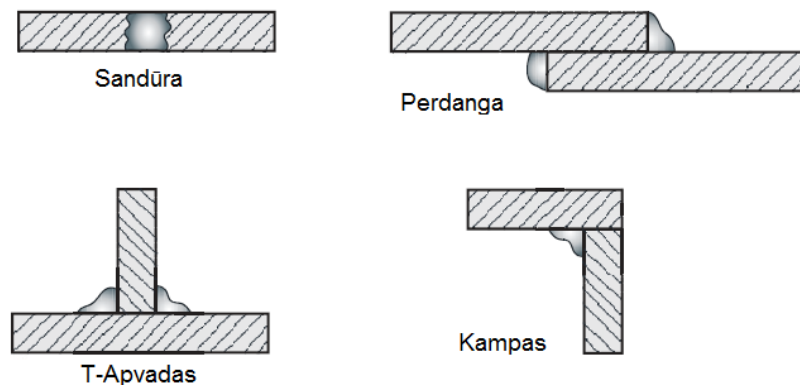
2.4. Korekcija realiu laiku

Korekcija realiu laiku galima naudojant roboto koordinačių sistemą, pagal etaloninę gaminio poziciją. Taip pat galima, naudojant objekto padėties duomenis iš lazerio jutiklio, kai suvirinimo linijos duomenys parengiami pagrindinėje koordinačių sistemoje, naudojantis apmokyta roboto judėjimo trajektorija. Jutiklio duomenys palyginami su roboto judėjimo trajektorija, esant neatitikimui roboto judėjimo trajektorija yra perskaičiuojama pagal jutiklio gautą reikšmę. Aštuntame paveiksle pateikiamas realaus laiko kelio korekcijos grafikas.

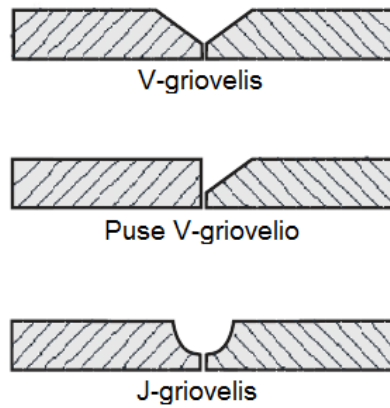


2.8 pav. Realaus laiko kelio korekcijos grafikas

Taikant lazerinį skenerį galima aptikti devintame paveiksle pavaizduotų plokštumų sujungimo vietas. Dešimtame paveiksle pavaizduoti sandūros griovelio tipai, kuriuos gali atpažinti kamera taip pat galima išmatuoti griovelio plotį.



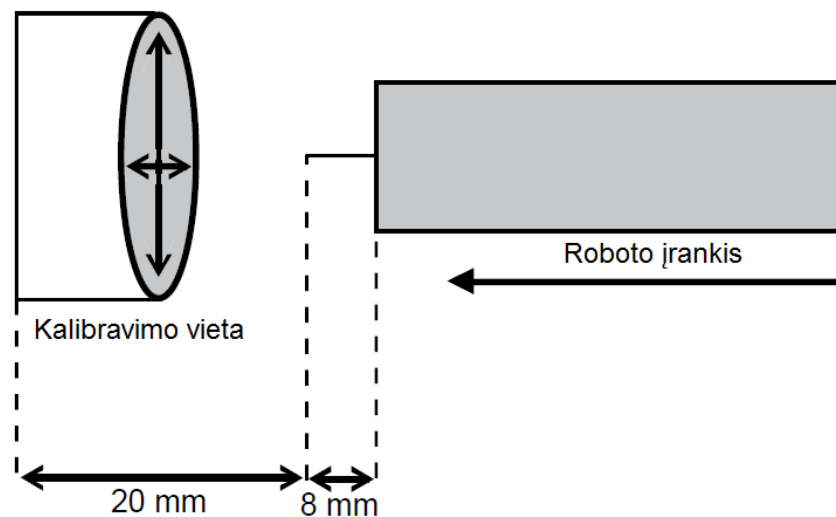
2.9 pav. Plokštumų sujungimo būdai



2.10 pav. Griovelio tipas

2.5. Automatinis roboto įrankio kalibravimas

Esant automatiniai sekimo sistemai taip pat pravartu naudoti automatinį roboto įrankio kalibravimą. Jis būtinas tada, kai robotas nepataiko į virinimo trajektoriją. Esant tokiai situacijai galima iškviešti programą, kuri atliks įrankio patikrinimą ir esant netikslumams juos pakoreguos. Ši programa gali būti naudojama po tam tikro skaičiaus ciklų arba įvykus roboto įrankio kontaktui su išoriniu objektu taip pat esant reikalui šią programą gali iškviešti operatorius. Programos fragmentas pateiktas apačioje. Vienuoliktame paveiksle pateikiama roboto įrankio kalibravimo sistema, tai yra apvali lėkštė su statmenomis briaunomis. Robotas virinimo vielos pagalba aptinka lėkštelės centrą, įvertinus gautą reikšmę apskaičiuojamas naujas įrankis.



2.11 pav. Roboto įrankio kalibravimo sistema

Pirmame programos fragmente aprašomi duomenys, kurie vėliau naudojami programoje, tai yra kintamieji, valdymo signalai, įrankio ir vartotojo koordinatės.

```

'=====
*TOP
'---REZYMAS 0=AUTO 1=REGULIAVIMO
SET B010 0
'-----IRANKIO NUMERIS
SET B011 8
'-----PAIESKOS IEJIMAS (RIN)
SET B012 1
'-----ISKISTI VIELA ISEJIMAS
SET D013 86
'KIEK LAIKO ISKISINETI VIELA (ms)
SET I000 40
'-----VIELOS NUKIRPIMO ISEJIMAS
SET D014 8
'-----ORO VOŽTUVO ISEJIMAS
SET D015 20
'-----KOREKCIJOS RIBOS mm
SET D004 5
'-----
'-----PARENGIAMI KINTEMIEJI
MUL D004 1000
SET D000 1
*
'=====
Parengiami kintamieji
'=====
GETS PX[D000] $PX000
CNVRT PX[D000] PX[D000] RF
SUB P[D000] P[D000]
ADD D000 1
JUMP *1 IF D000<21
'=====

```

Šioje dalyje etaloninis ranka sukalibruotas įrankis, jis naudojamas kaip atskaitos taškas.

```

'=====
'Kalibruoto įrankio duomenys
SETE P010 (1) -77218
SETE P010 (2) -1806
SETE P010 (3) 390746
SETE P010 (4) 0
SETE P010 (5) -450000
SETE P010 (6) 0
'=====

```

Pasirinktoje koordinačių sistemoje įrašoma kalibravimo lėkštės centro koordinatė, po to ji bus sulyginata su gauta po naujo matavimo.

```

'=====
'Įrašoma kalibruota lėkštelės reikšmė
SETE P019 (1) -341510
SETE P019 (2) -712672
SETE P019 (3) -393023

```

SETE P019 (4) -1663546
SETE P019 (5) 524624
SETE P019 (6) -670314
'=====

Šioje dalyje nurodomi paieškos dydžiai, kryptis kuriomis judės robotas.

'=====
'Irašomi puodelio gabaritai
SETE P001 (3) 25000
SETE P002 (3) -2500
SETE P003 (1) 50000
SETE P004 (1) -50000
SETE P005 (2) 50000
SETE P006 (2) -50000
SETE P007 (1) -5000
'=====

Toliau atliekamas apskritimo centro koordinatės paieška, suradus keturis apskritimo taškus apskaičiuojamas centras.

'=====
MOVJ C00000 VJ=10.00
MOVJ C00001 VJ=25.00 PL=0
PULSE OT#(D015) T=1.00
IMOV P001 V=5.0 PL=0 TF SRCH RIN#(B012)=ON T=0.30 DIS=50.0
IMOV P002 V=33.3 PL=0 TF
IMOV P003 V=5.0 PL=0 TF SRCH RIN#(B012)=ON T=0.30 DIS=10.0
GETS PX008 \$PX001
IMOV P007 V=33.3 PL=0 TF
IMOV P004 V=5.0 PL=0 TF SRCH RIN#(B012)=ON T=0.30 DIS=10.0
GETS PX009 \$PX001
ADD P008 P009
DIV P008 2
MOVL P008 V=66.7
IMOV P005 V=5.0 PL=0 TF SRCH RIN#(B012)=ON T=0.30 DIS=10.0
GETS PX009 \$PX001
MOVL P008 V=66.7
IMOV P006 V=5.0 PL=0 TF SRCH RIN#(B012)=ON T=0.30 DIS=10.0
GETS PX008 \$PX001
JUMP *RUN2 IF B010=0
'=====

Galiausiai gauta apskritimo reikšmė sulyginama su etalonine reikšme, gautas skirtumas pridedamas prie esamo įrankio.

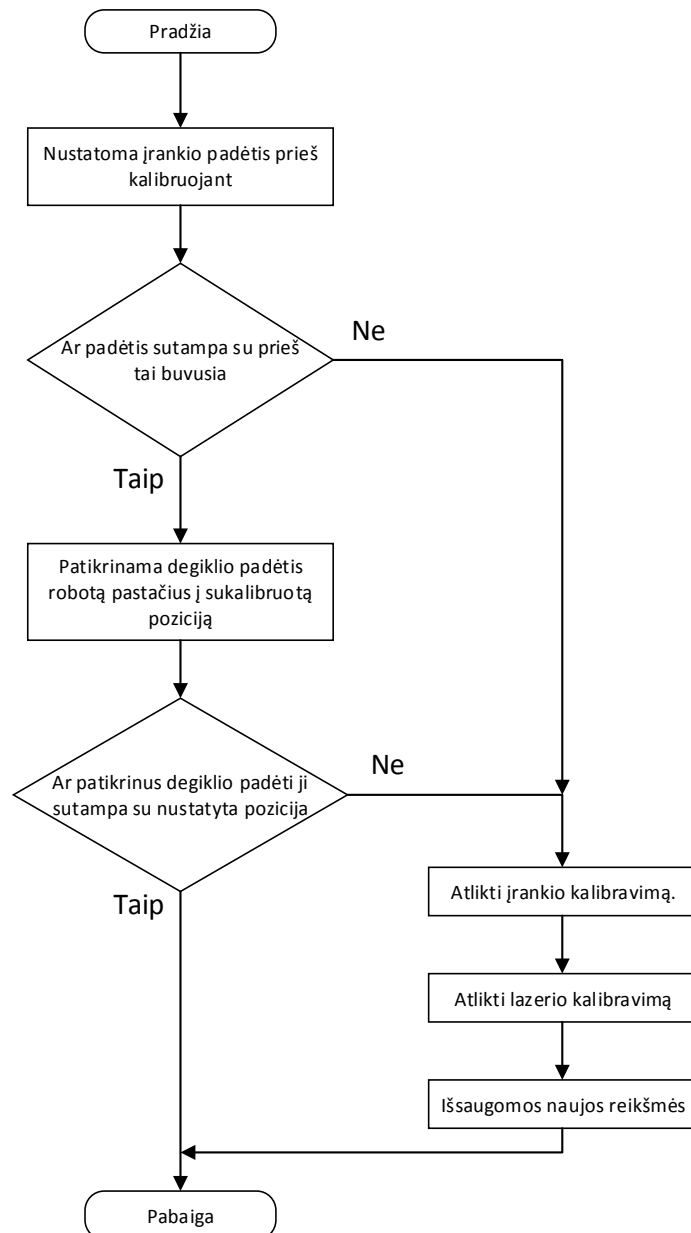
'=====
'Apskaičiuojamas naujas įrankis
CNVRT PX008 PX008 RF
CNVRT PX009 PX009 RF
ADD P008 P009
DIV P008 2

```

MOVL P008 V=33.3 PL=0
SET P011 P008
MSHIFT PX015 TF PX019 PX011
SET P017 P010
INVMAT P012 P011
MULMAT P013 P017 P012
MULMAT P018 P013 P019
SETE P018 (4) D000
SETE P018 (5) D001
SETE P018 (6) D002
SETTOOL TL#(B011) P018
'=====

```

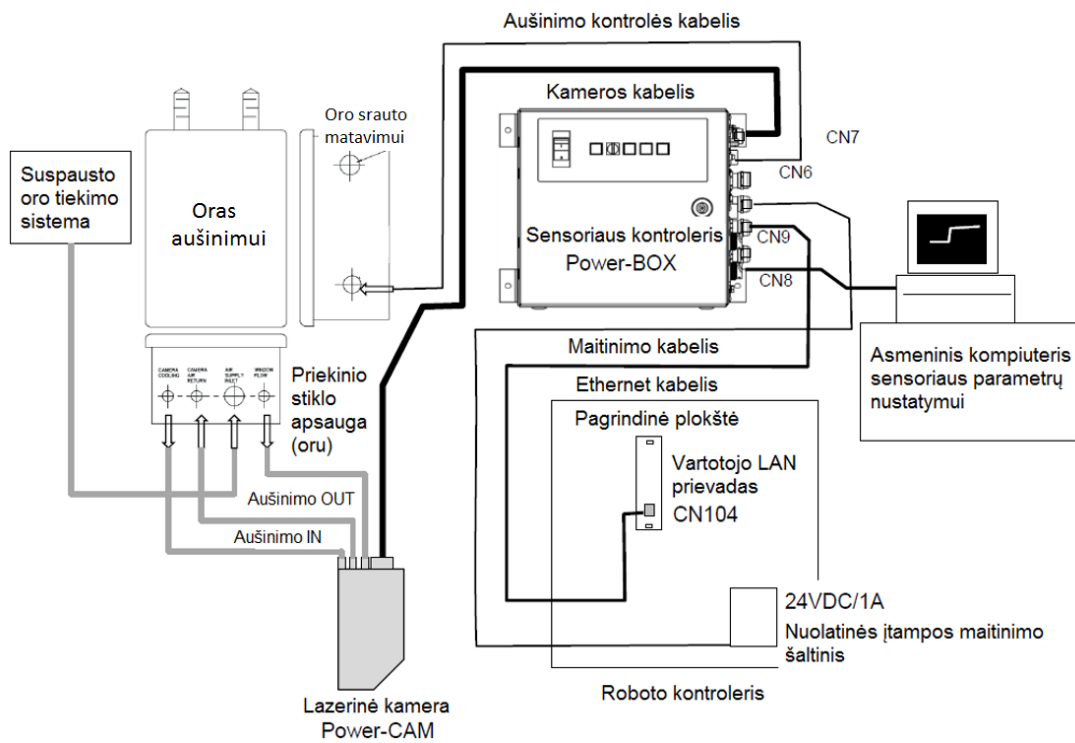
Dvyliktame paveiksle pateikiamas algoritmas, kurio pagalba nustatoma roboto įrankio kalibravimo tvarka. Apibrėžiama įrankio patikros procedūra ir esant reikalui atliekami veiksmai reikalingi kalibruoti įrankį.



2.12 pav. Algoritmas nustatantys ar atlikti kalibravimą

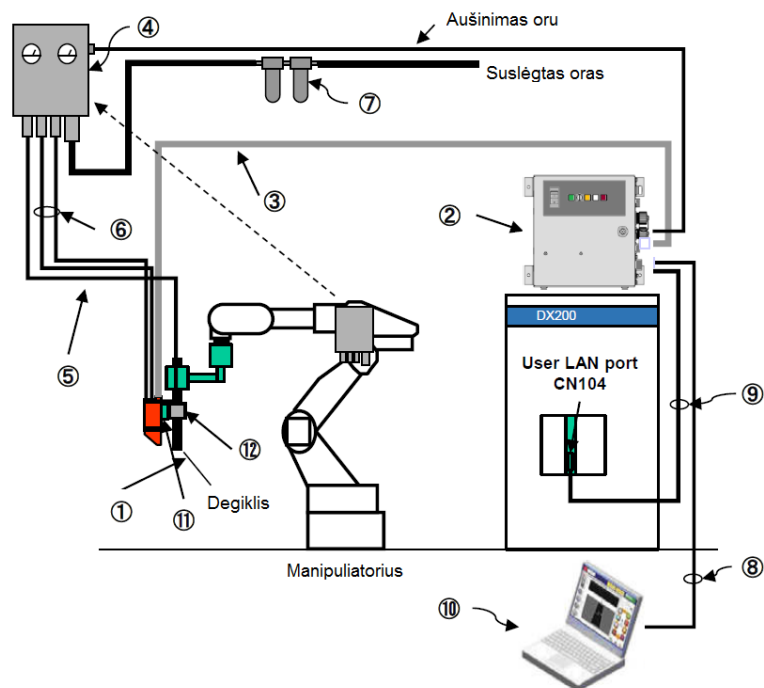
2.6. Roboto komunikacija su lazerine sekimo sistema

Lazerinės sekimo sistemos jungimo schema su roboto valdymo kontrolieriu pateikta tryliktame paveiksle.



2.13 pav. Lazerinės sekimo sistemos jungimo schema

Sistemos struktūrinė schema pateikiama keturioliktame paveiksle. Elementai sužymėti skaičiais trečioje lentelėje pateikiamas kiekvieno elemento aprašymas



2.14 pav. Lazerinės sekimo sistemos struktūra

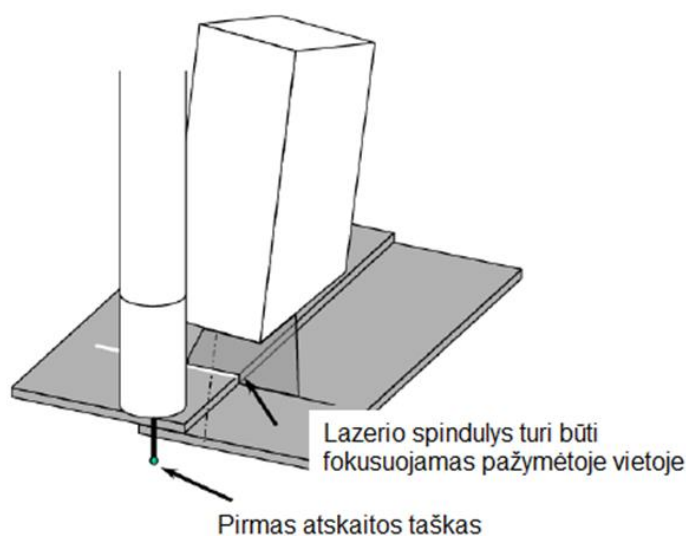
Lazerinės sekimo sistemos struktūros paaiškinimas

1.	„POWER-TRAC/SHR“ (lazerinė kamera);
2.	Jutiklio valdymo blokas (važdo apdorojimo sistema);
3.	Kameros kabelis (5 m);
4.	Oro paruošimo mazgas;
5.	Dūmų prapūtimas oro (virinimo metu);
6.	Aušinimo oras;
7.	Oro filtras;
8.	LAN kabelis tarp asmeninio kompiuterio ir jutiklio valdymo bloko;
9.	LAN kabelis tarp roboto kontrolerio ir jutiklio valdymo bloko;
10.	„WeldCom“ programinė įranga;
11.	Izoliacija atskirianti roboto įranki nuo jutiklio;
12.	Jutiklio laikiklis (priklausomai nuo roboto įrankio).

2.7. Lazerinio jutiklio kalibravimas

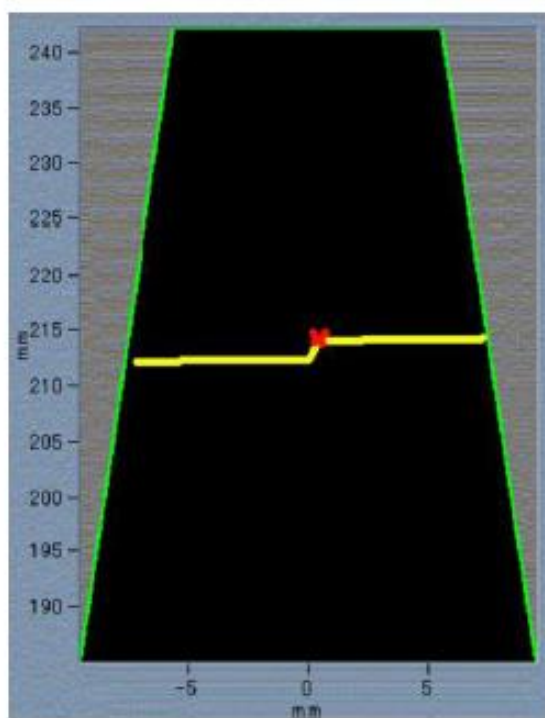
Šiame skyriuje analizuojama, kaip nustatyti roboto įrankio atskaitos taškus. Gauti jutiklio duomenys yra siunčiami robotui, yra siunčiamos dvi reikšmės Y koordinatė ir Z koordinatė. Kamera konvertuoja įėjimo duomenys į roboto koordinačių sistemą. Robotų įrankio koordinačių sistema yra palyginama su kameros koordinačių sistema.

Vieno atskaitos taško registravimas pavaizduotas penkioliktame paveiksle. Nustatoma manipulatoriaus pozicija, kad lazerio spindulys išlaikytu pradžios liniją.



2.15 pav. Lazerinės kameros kalibravimo padėtis

Po to atitinkamai užregistruojami taškai kurie paslinkti tiek į kairę tiek į dešinę. Užduotos roboto įrankio ir kameros koordinatinių sistemų. Kalibravimas vykdomas penkiais žingsniais, nustačius roboto įrankį pažymėtoje vietoje, toliau registruojami keturi lazerinės kameros taškai, visame kameros matymo lauke. Šešioliktame paveiksle pateiktas kameros kalibravimo taško pavyzdys, šis taškas yra matomas „WeldCom“ programoje skirtoje realiu laiku stebėti kameros būseną.

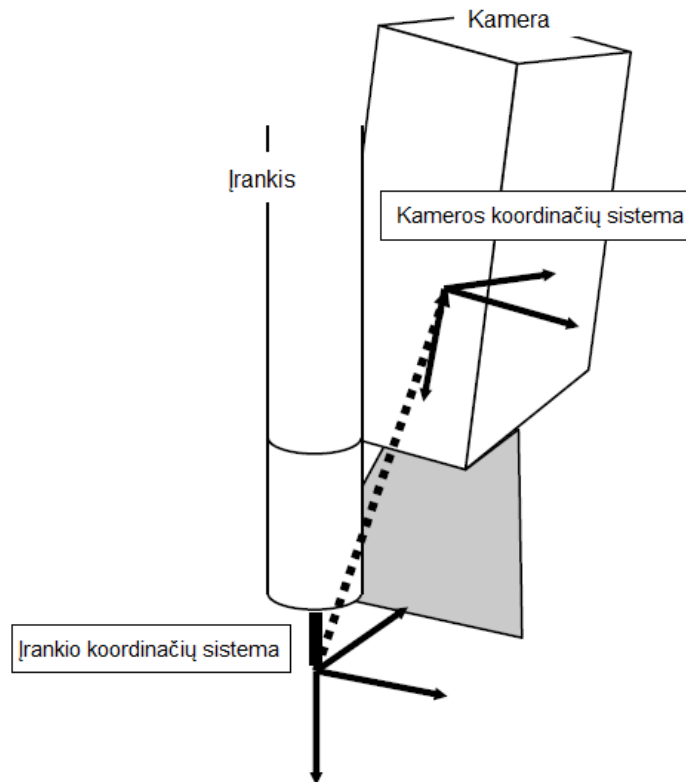


2.16 pav. Lazerinės kameros pirma kalibravimo pozicija

Duomenų perdavimas tarp „YASKAWA MOTOMAN“ roboto ir „SERVO-robot“ lazerinės kameros, į jutiklį siunčiama užklausa atsiusti aptinkamo taško koordinatę, ji perduodama robotui. Robotas įrašo esama koordinatę kas 0.01 s. Robotas turi turėti jutiklio koordinatę roboto įrankio koordinatės atžvilgiu. Sulyginus šiuos duomenis ir robotui atvažiavus į atitinkamą poziciją yra paliginamas taškas gautas iš jutiklio. Įvertinus skirtumą tarp esamos užprogramuotos roboto pozicijos ir gautos jutiklio koordinatės, šis skirtumas pridedamas prie esamos pozicijos ir į sekanti tašką robotas juda pakoreguota trajektorija, atvažiavus į sekantį tašką procedūra kartojama iš naujo. Taip pat reikia įvertinti klaidingos trajektorijos suradimo tikimybę ir roboto elgsena tam įvykus. Yra du galimi būdai:

Pirmas nekreipti dėmesio į viršytą reikšmę ir judėti toliau užprogramuotą trajektorija;

Antras sustoti ir leisti operatoriui atlikti pasirinkimą arba kartoti veiksmą iš naujo arba praleisti esama trajektoriją, kurios nepavyksta surasti dėl įvairių faktorių, vienas iš jų gali būti neteisingas įrankio arba lazerinės kameros kalibravimas. Septynioliktame paveiksle pateikiamas kameros ir roboto įrankio koordinatinių sistemų.



2.17 pav. Roboto įrankio ir kameros koordinacių sistemos

2.8. Filtrų rūšys

Filtrai naudojami išskirti aiškų kontūrą, kurio pagalba būtų galima rasti tinkama trajektorija robotui. Žemiau pateikiamos filtrų rūšys, kurios bus naudojamos eksperimentinėje dalyje.

Atspindžio filtras

Šis filtras eliminuoja taškus, kurie yra nepageidaujami šiam kontūriui. Dažniausios priežastys tokių nepageidaujamų taškų atsiradimui yra veidrodiniai atspindžiai. Norint naudoti šį filtrą reikia, kad kontūras atitiktų dvi pagrindines sąlygas:

- Pirmieji ir Paskutiniai 10 kontūro taškų turi būti teisingi ir neturėti atspindžio arba triukšmo;
- Kontūras neturi turėti staigių vertikalinių pertraukimų.

Medianos filtras:

Šis filtras naudojamas pašalinti nepageidaujamus taškus iš renkamų duomenų. Filtras paima pasirinkta skaičių taškų ir iš gautos skaičių eilės parenka vidurinį tašką. Tokiu būdu galima išskirti aiškesnį kontūrą.

Vidurkio filtras

Šis filtras leidžia iš pasirinkto skaičiaus taškų apskaičiuoti aritmetinį jų vidurkį. Nepageidaujami taškai yra pašalinami gaunamas mažesnis duomenų išsibarstymas.

Tęstinumo filtras

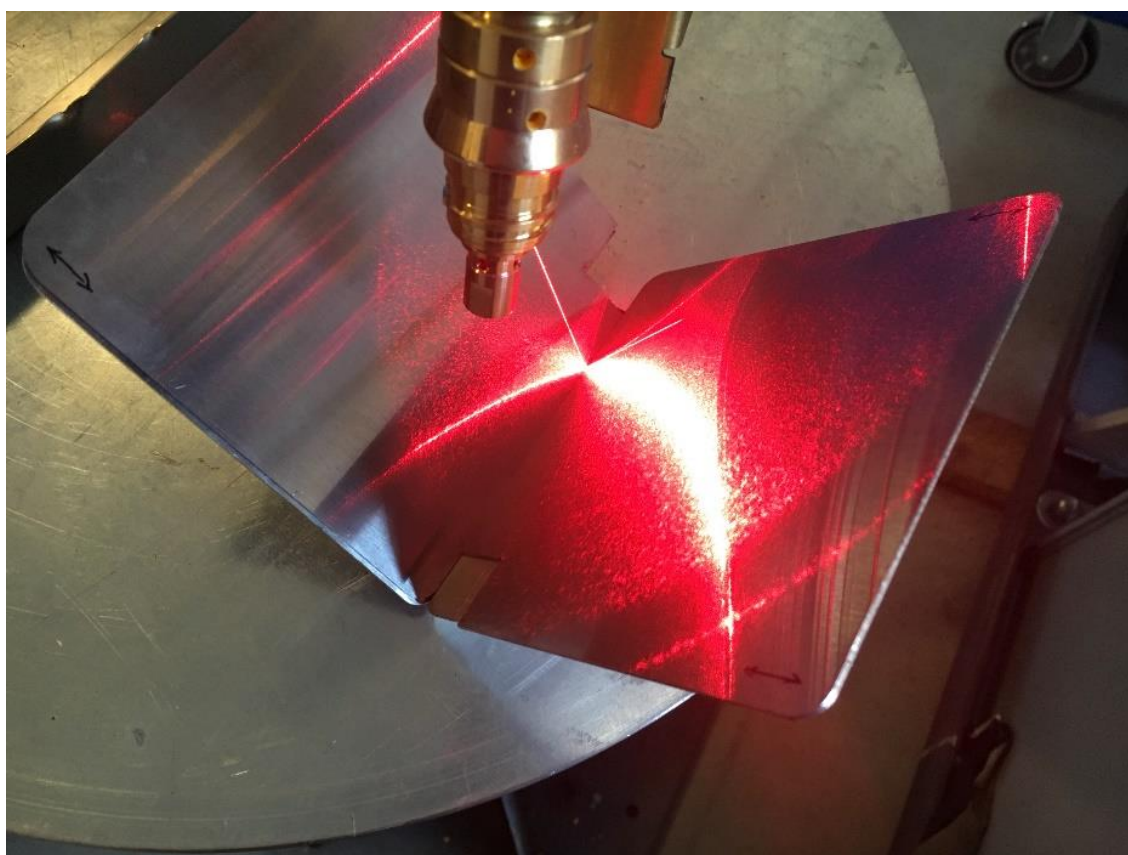
Tęstinumo parinktis naudojama, kai yra skylė nuskaitytą objektą. Jei kai taškų trūksta ant profilio, programinė įranga baigs profilį prijungiant prieš skylę pikselių ir pikselis po skylę tiesia linija.

3. EKSPERIMENTINĖ DALIS

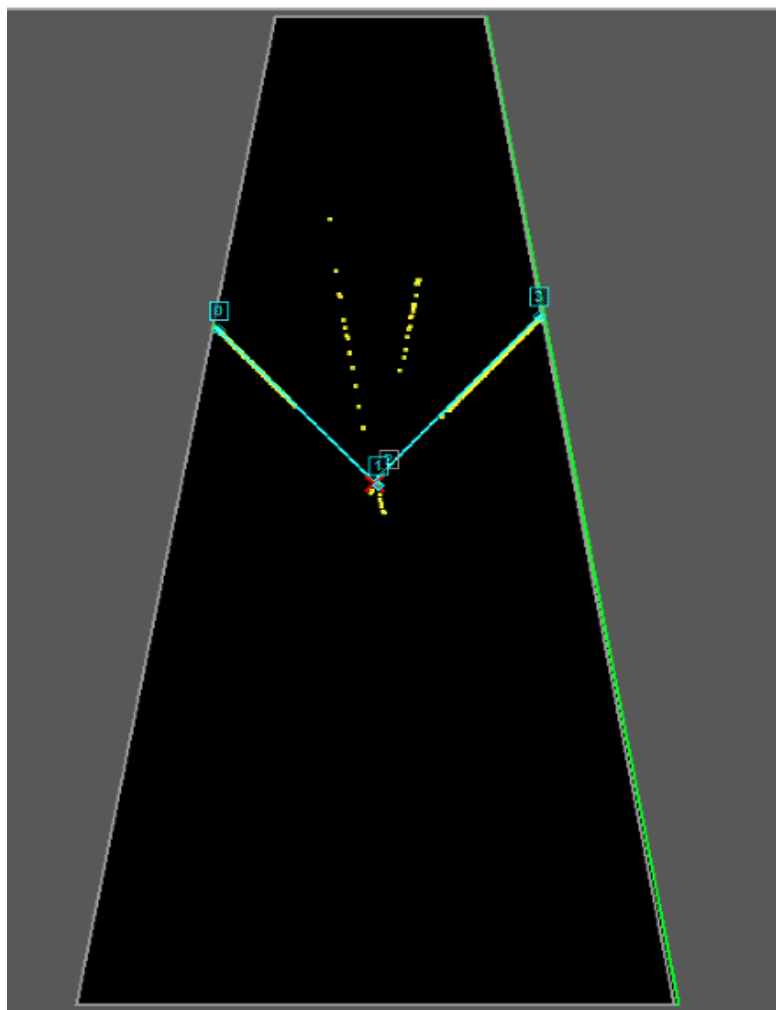
Šiame skyriuje bus tyrinėjamos „Servo - robot POWER-TRAC/SHR“ lazerinė kamera. Atliekami eksperimentai, kuriu pagalba bus nustatytas kameros duomenų tikslumas, siekiant aptikti tam tikrą kontūrą taip pat atsirandančios paklaidos dėl medžiagos savybių. Pasinaudojus lazerinės kameros programine įranga bus derinamas algoritmas stengiantis išgauti tikslu kontūrą su aiškia koordinate, kuri perduodama pramoniniam robotui. Labai svarbus aspektas gamybai ir sistemos stabilumui yra paieškos greitis, bus atliekami eksperimentai, kuriu metu keičiant paieškos greiti, bus registruojamos atsirandančios paklaidos.

3.1. Pirmas kontūras

Šioje dalyje aptinkamas 90° laipsnių vidinis kampas pasirinktas (1.4000 markės nerūdijantis plienas), tai šlifluotas blizgus paviršius, dėl kurio atsiranda nepageidaujami veidrodiniai spinduliai. Metalo poliravimo kryptis statmena roboto judėjimo trajektorijai (Lygiagretus lazerio linijai) pavaizduota pirmame paveiksle. Galima matyti, kad dešinės ir kairės dalies profilio segmentai yra prarasti, tai pateikiama antrame paveiksle.



3.1 pav. Pirmas kontūras 90° laipsnių vidinis kampas



3.2 pav. Pirmo kontūro vaizdas be filtrų

Šiuo atveju naudojamas algoritmas, apskaičiuojantis susikirtimo tašką. Naudojant atspindžių filtrą galima panaikinti pašalinius veidrodinius atspindžius.

Koreguojant kameros kampą yra didesnė tikimybė išvengti veidrodinių atspindžių. Atsižvelgiant į veidrodinius atspindžius, galima lengviau atrasti tinkamą kameros padėtį.

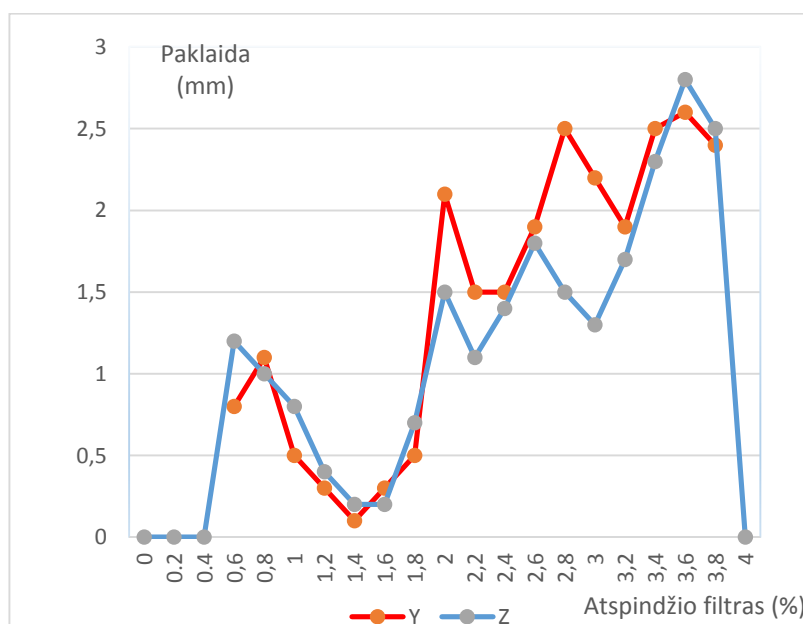
3.1.1. Pirmas eksperimentas skirtas 90° laipsnių vidiniam kampui aptikti

Šiame eksperimente bus nagrinėjama lazerinės kameros trajektorijos suradimo paklaida keičiant atspindžio filtrą. Pradžioje uždėjus neblizgų pagrindą surandamas tikrasis susikirtimo taškas, keičiant atspindžio filtro reikšmę, stengiamasi pasiekti kiek galima artimesnę reikšmę. Pirmoje lentelėje pateikiami eksperimento duomenys atspindintis atspindžio filtro priklausomybe nuo gautos kontūro koordinatės.

Atspindžio filtro priklausomybė gauto kontūro reikšmei

Atspindžio filtras (%)	Aptinkamo taško paklaida	
	Y (mm)	Z (mm)
0	Neaptinkamas	
0.2	Neaptinkamas	
0.4	Neaptinkamas	
0.6	1,2	0,8
0.8	1	1,1
1	0,8	0,5
1.2	0,4	0,3
1.4	0,2	0,1
1.6	0,2	0,3
1.8	0,7	0,5
2	1,5	2,1
2.2	1,1	1,5
2.4	1,4	1,5
2.6	1,8	1,9
2.8	1,5	2,5
3	1,3	2,2
3.2	1,7	1,9
3.4	2,3	2,5
3.6	2,8	2,6
3.8	2,5	2,4
4	Neaptinkamas	

Atlikus tyrimą nustatyta, kad mažiausia paklaida gaunama esant 1.4 % atspindžio filteriui. Trečiame paveiksle pateikiama grafinė pirmos lentelės priklausomybė.



3.3 Grafinė pirmos lentelės priklausomybė

Gautos paklaidos yra nykstantai mažos, todėl galima vertinti, kad susikirtimo taškas yra tinkamai randamas. Kameros kampas nebus keičiamas.

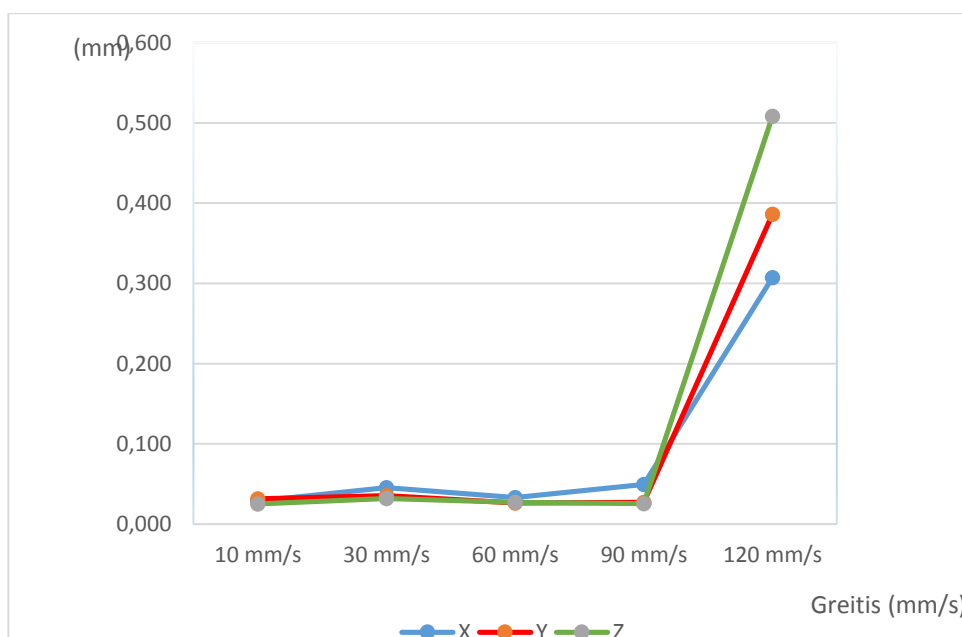
3.1.2. Antras eksperimentas skirtas 90° laipsnių vidiniam kampui aptikti

Nustačius tinkama susikirtimo tašką tolimesniu eksperimentu bus nustatomas paieškos greičio ir paieškos duomenų priklausomybė. Buvo atliekami bandymai penkiais skirtingais greičiais, su kiekvienu greičiu bandymas buvo kartojamas trys kartus norint įvertinti paklaidas atsirandančia dėl roboto pozicionavimo. Antroje lentelėje pateikiami matavimų duomenys, matavimai buvo atliekami visiškai vienodomis sąlygomis stengiantis atrasti dviejų plokštelių padėtu viena ant kitos pradžios tašką. Lentelėje pateikiamos paklaidos nuo etaloninės reikšmės. Ketvirtame paveiksle pateikiamas grafinis pirmos lentelės vaizdas.

3.2 lentelė

Paieškos greičio priklausomybė roboto koordinatės paklaidai

Greitis (mm/s)	Pirmas bandymas			Antras bandymas			Trečias bandymas		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10 mm/s	0,012	0,015	0,029	0,022	0,035	0,019	0,052	0,045	0,027
30 mm/s	0,072	0,006	0,027	0,053	0,027	0,031	0,012	0,074	0,038
60 mm/s	0,026	0,035	0,012	0,017	0,016	0,029	0,057	0,028	0,041
90 mm/s	0,057	0,028	0,021	0,059	0,042	0,029	0,032	0,011	0,027
120 mm/s	0,251	0,418	0,447	0,347	0,214	0,727	0,324	0,527	0,351



3.4 pav. Paieškos greičio priklausomybė roboto pozicijos tikslumui

Analizuojant gautus matavimo duomenys, galima matyti, kad paklaidos pradeda atsirasti esant 120 mm/s greičiui, praktiškai esant mažesniai greičiui lazerinės kameros perduodami duomenys, neturi įtakos paklaidai, ji galėjo atsirasti būtent iš roboto pozicionavimo netikslumo. Trečioje lentelėje pateikiamos gautos matavimo paklaidos vidurkiai. Roboto pozicionavimo tikslumas dažiausiai priklauso nuo dviejų veiksnių:

- 1) Roboto servo pavarų paklaidų;
- 2) Mechanizmų detalių paklaidų;

Priklausomai nuo roboto tipo, jo keliamosios galios, funkcionavimo sąlygų, kiekviena iš šių paklaidų gali turėti lemiamą reikšmę pozicionavimo tikslumui. Tačiau iš matavimo duomenų matoma, kad paklaida neviršijo 38 μm , o tai neviršija paklaidų, kurias deklaruoja gamintojas.

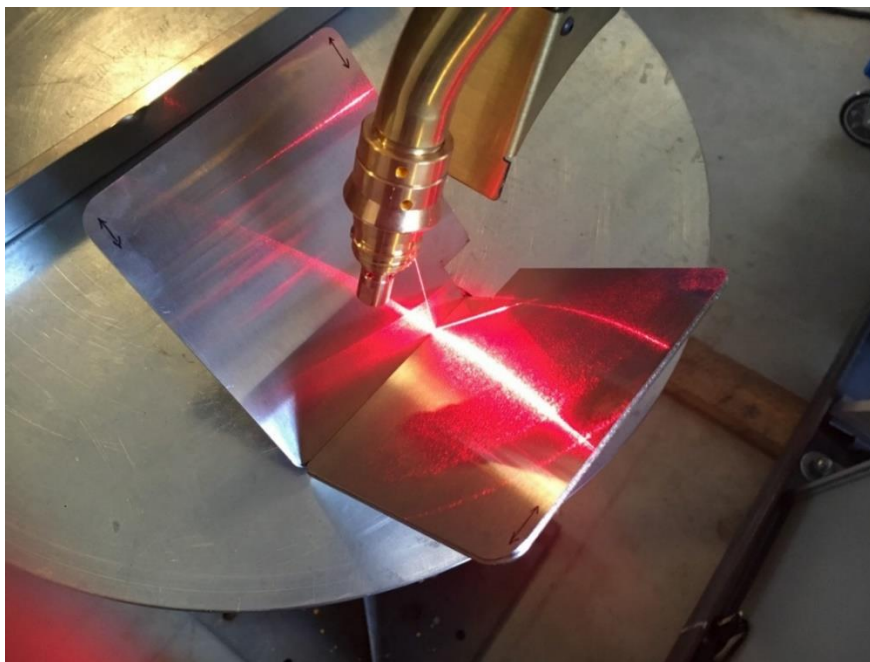
3.3 lentelė

Gautu matavimo paklaidų vidurkiai

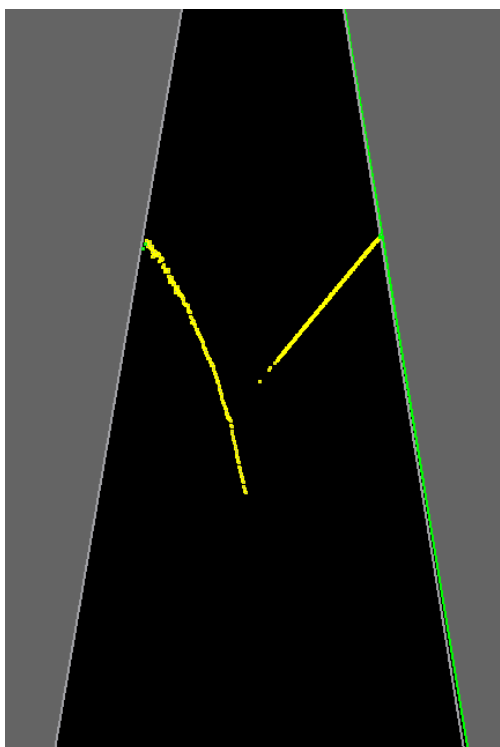
Greitis (mm/s)	Vidurkis			Maksimali reikšmė			Paklaida nuo vidurkio		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
10 mm/s	0,029	0,032	0,025	0,052	0,045	0,029	0,023	0,013	0,004
30 mm/s	0,046	0,036	0,032	0,072	0,074	0,038	0,026	0,038	0,006
60 mm/s	0,033	0,026	0,027	0,057	0,035	0,041	0,024	0,009	0,014
90 mm/s	0,049	0,027	0,026	0,059	0,042	0,029	0,010	0,015	0,003
120 mm/s	0,307	0,386	0,508	0,347	0,527	0,727	0,040	0,141	0,219

3.2. Antras kontūras

Šio atveju naudojamos to paties nerūdijančio plieno plokštelės. Metalo poliravimo kryptis skirtingos, vienos plokštelės poliravimo kryptis statmena lazerio spinduliui, o kitos plokštelės poliravimo kryptis lygiagreti lazerio spinduliui nuotrauka pateikta penktame paveiksle. Galima matyti, kad kairės dalies profilio segmentai yra prarasti, tai pateikiama šeštame paveiksle.



3.5. pav. Antras kontūras 90° laipsnių vidinis kampas



3.6 Antro kontūro vaizdas be filtrų

Panaudojus atspindžių filtrą, kuris buvo naudojamas pirmame eksperimente. Situacija pagerėja, tačiau kontūras nėra aiškus ir susikritimo pozicija gaunama su 3 mm paklaida Y kryptimi ir 2 mm paklaida Z kryptimi. Keičiant atspindžio filtro parametrus nepavyko gauti geresnio rezultato, todėl trečiame eksperimente bus keičiamas lazerinės kameros kampas.

3.2.1. Trečias eksperimentas skirtas 90° laipsnių vidiniam kampui aptikti

Eksperimentas buvo atliekama tokiu principu:

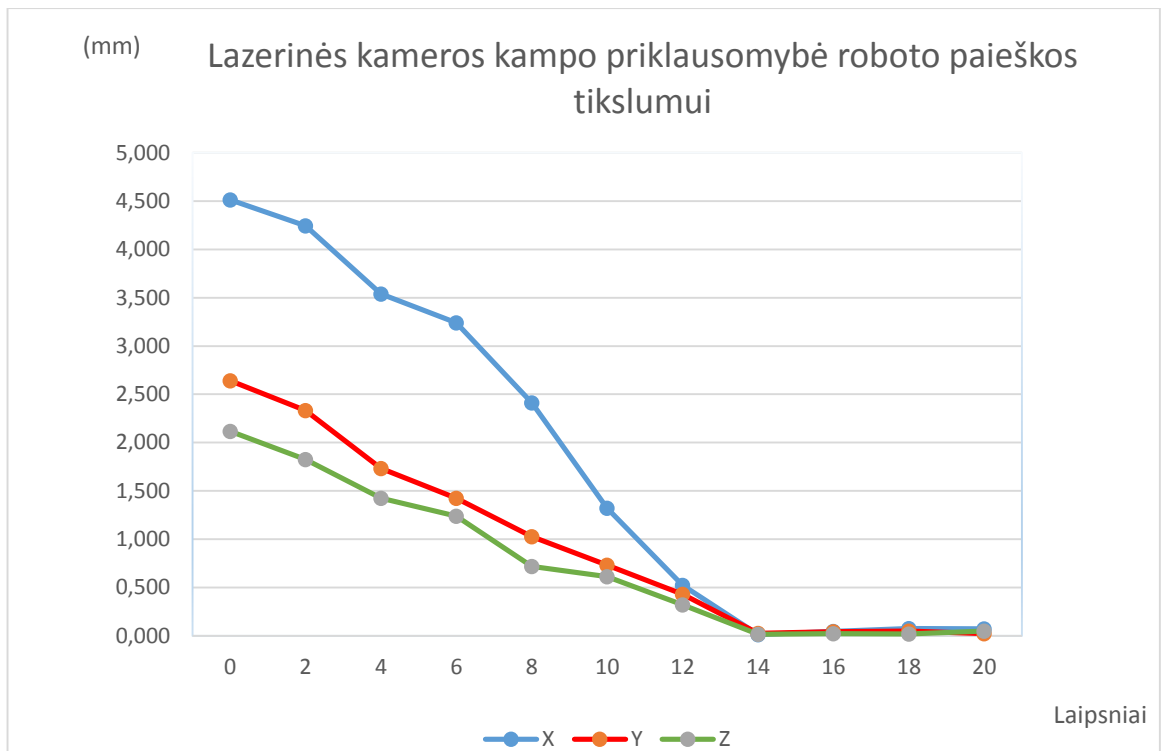
- Fiksuojant susikirtimą ir judant į poziciją, kurioje susikirtimas nebefiksuojamas;
- Atliekant bandymus buvo keičiamas lazerinės kameros kampas nuo 0° iki 20° atitinkamai šviečiant į plokštumą statmenai ir sudarant statų kampą, buvo fiksuojamos X Y ir Z koordinatės.

Iš viso buvo atlikta 10 bandymų, didinant lazerinės kameros kampą 2° laipsniais, o gauti rezultatai kaip duomenys buvo suvesti į ketvirtoje lentelę. Lentelėje atspindimas nuokrypis nuo etaloninės reikšmės, kuo mažesnis nuokrypis tuo kameros kampas yra tinkamesnis nustatytai pozicijai aptikti. Septintame paveiksle pateiktas grafinis trečios lentelės vaizdas.

3.4 lentelė

Kameros kampo priklausomybė roboto koordinatei

Kampas	Pirmas bandymas			Antras bandymas			Trečias bandymas		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
0°	4,532	2,632	2,111	4,514	2,613	2,124	4,493	2,681	2,112
2°	4,232	2,332	1,820	4,242	2,322	1,810	4,262	2,342	1,850
4°	3,523	1,721	1,440	3,581	1,725	1,420	3,511	1,755	1,410
6°	3,221	1,425	1,220	3,271	1,431	1,280	3,234	1,422	1,220
8°	2,421	1,015	0,720	2,393	1,055	0,720	2,421	1,014	0,720
10°	1,321	0,725	0,620	1,331	0,745	0,610	1,311	0,724	0,610
12°	0,521	0,425	0,320	0,511	0,455	0,330	0,541	0,415	0,310
14°	0,012	0,011	0,011	0,018	0,033	0,014	0,013	0,031	0,019
16°	0,041	0,055	0,022	0,045	0,057	0,026	0,052	0,012	0,021
18°	0,079	0,043	0,024	0,078	0,051	0,021	0,072	0,054	0,014
20°	0,082	0,032	0,051	0,052	0,012	0,054	0,084	0,022	0,041



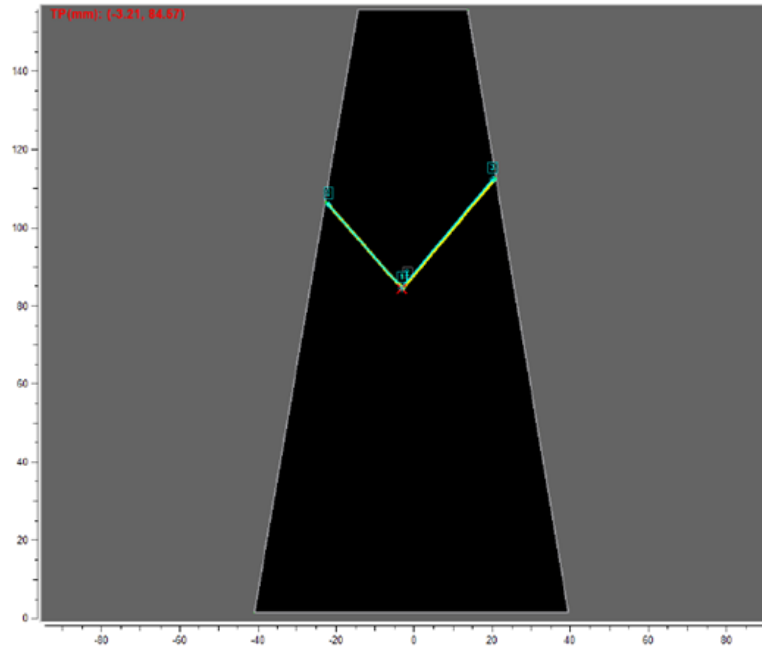
3.7 pav. Lazerinės kameros kampo priklausomybė roboto paieškos tikslumui

Ketvirtoje lentelėje pateikiama gautu matavimo duomenų analinė, pateiktas gautos matavimo paklaidos vidurkis, kuriame galima matyti, kad mažiausias pozicijos nuokrypis yra esant 14° laipsnių kameros kampui, toliau didinant kampą paklaida pradėjo augti, tačiau nedidelėse ribose.

3.5 lentelė

Gautu matavimo paklaidų vidurkiai

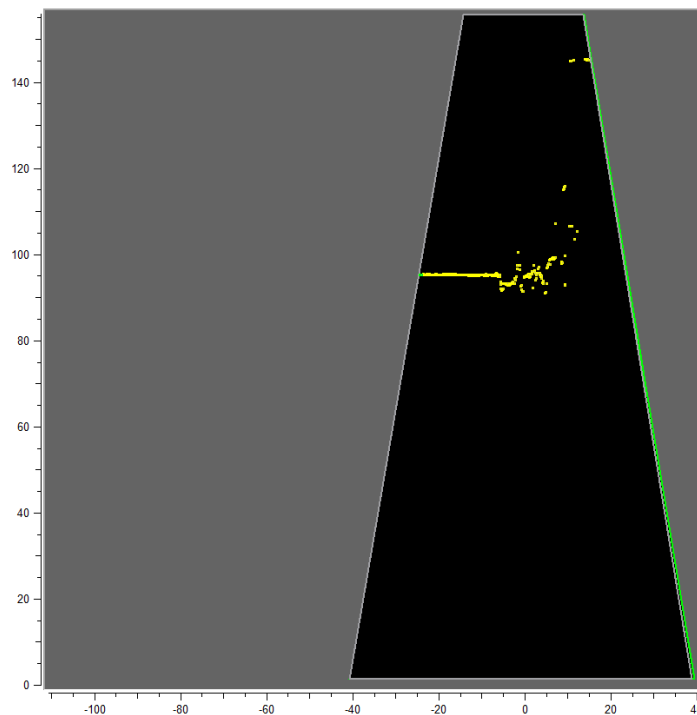
Kampas	Vidurkis			Maksimali reikšmė			Paklaida nuo vidurkio		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
0°	4,513	2,642	2,116	4,532	2,681	2,124	0,019	0,039	0,008
2°	4,245	2,332	1,827	4,262	2,342	1,850	0,017	0,010	0,023
4°	3,538	1,734	1,423	3,581	1,755	1,440	0,043	0,021	0,017
6°	3,242	1,426	1,240	3,271	1,431	1,280	0,029	0,005	0,040
8°	2,412	1,028	0,720	2,421	1,055	0,720	0,009	0,027	0,000
10°	1,321	0,731	0,613	1,331	0,745	0,620	0,010	0,014	0,007
12°	0,524	0,432	0,320	0,541	0,455	0,330	0,017	0,023	0,010
14°	0,014	0,025	0,015	0,018	0,033	0,019	0,004	0,008	0,004
16°	0,046	0,041	0,023	0,052	0,057	0,026	0,006	0,016	0,003
18°	0,076	0,049	0,020	0,079	0,054	0,024	0,003	0,005	0,004
20°	0,073	0,022	0,049	0,084	0,032	0,054	0,011	0,010	0,005



3.8. Gautas kontūras pakreipus kamera 14°

3.3. Trečias kontūras

Norint nustatyti tarpą labai svarbu išskirti aiškų kontūrą, kurio pagalba būtų galima nustatyti aišku skylės dydį taip pat išskirti skylės centrą. Devintame paveiksle pavaizduotas skylės kontūras be filtrų.



3.9 pav. Trečio kontūro vaizdas be filtrų

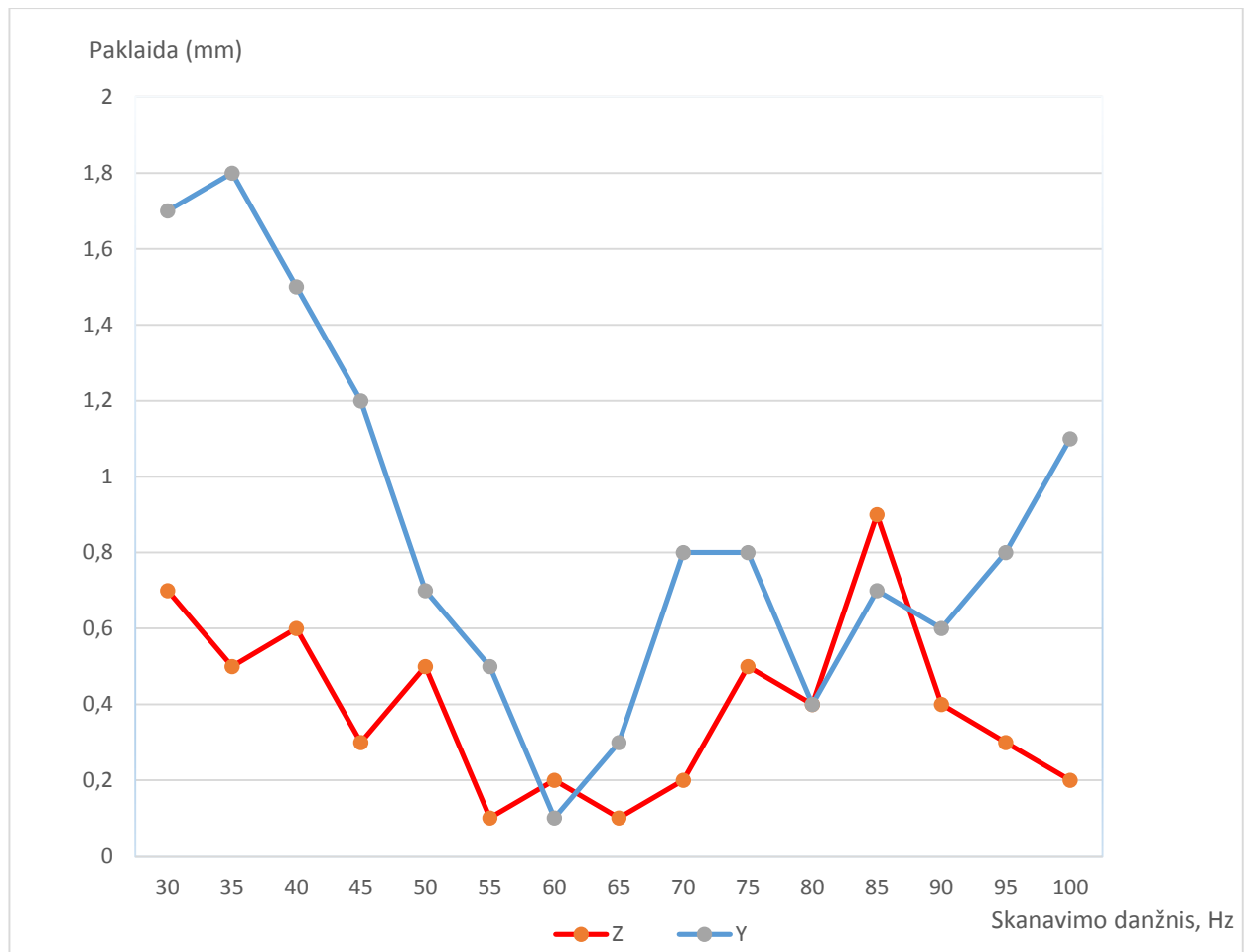
3.3.1. Ketvirtas eksperimentas skirtas išskirti aišku skylės kontūrą

Eksperimentas buvo atliekamas fiksuojant matinę medžiagą, kuri nesukelia pašalinių nepageidautinų atspindžių, todėl keisti kameros kampa yra netikslinga, tai nepadeda aiškiau išskirti kontūrą. Taip pat norint nustatyti aiškią briauną nepatartina naudoti atspindžio filtrą, nes jis gali panaikinti kai kuriuos reikalingus taškus, po to yra iškraipomas skylės dydis. Stengiantis išskirti tinkama kontūrą buvo didinama kameros skanavimo dažnis, tai padeda surinkti daugiau taškų. Šeštoje lentelėje pateikiamos paklaidos nuo etaloninės reikšmės. Dešimtame paveiksle pateikiamas grafinis pirmos lentelės vaizdas.

3.6 lentelė

Skanavimo dažinio priklausomybė gautai kontūro reikšmei

Atspindžio filtras (%)	Aptinkamo taško paklaida	
	Y (mm)	Z (mm)
5	Neaptinkamas	
10	Neaptinkamas	
15	Neaptinkamas	
20	Neaptinkamas	
25	Neaptinkamas	
30	1,7	0,7
35	1,8	0,5
40	1,5	0,6
45	1,2	0,3
50	0,7	0,5
55	0,5	0,1
60	0,1	0,2
65	0,3	0,1
70	0,8	0,2
75	0,8	0,5
80	0,4	0,4
85	0,7	0,9
90	0,6	0,4
95	0,8	0,3
100	1,1	0,2



3.10 pav. Skanavimo dažnio priklausomybė Y ir Z koordinatei

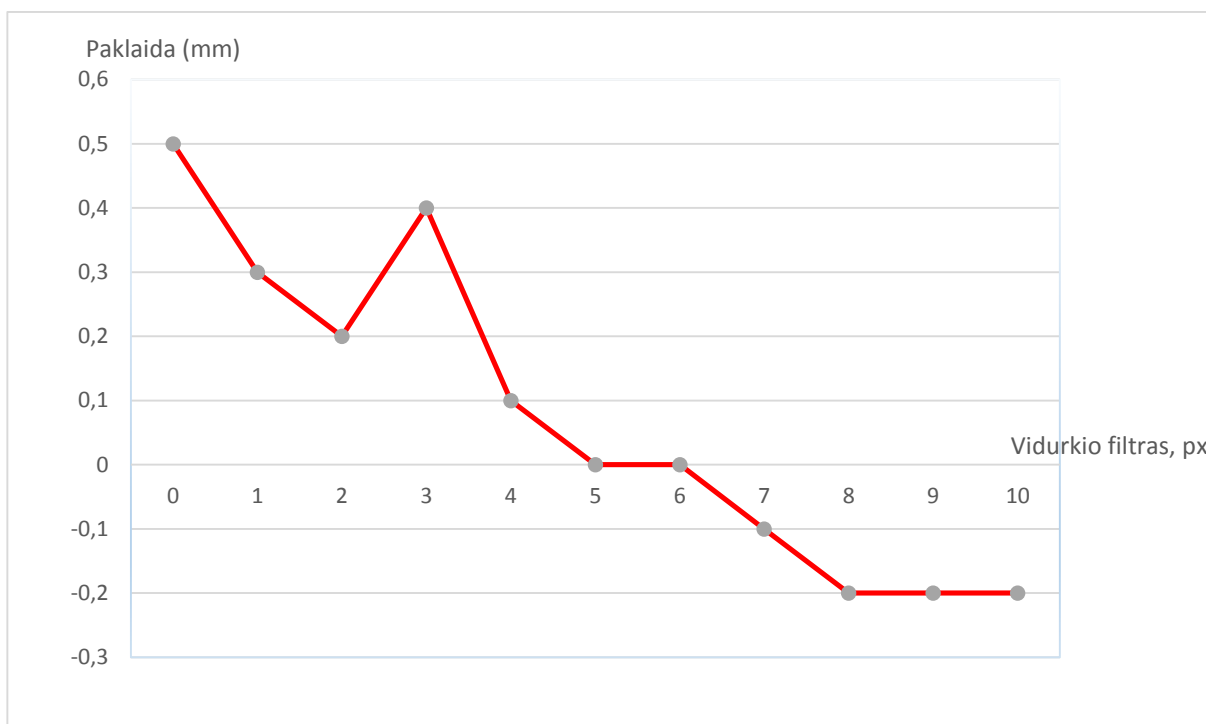
Analizuojant gautus matavimo duomenys, galima matyti, kad mažiausia skylės centro paklaida gaunama skanuojant kontūrą 60 Hz dažniu.

3.3.2. Penktas eksperimentas skirtas išskirti teisinga skylės dydį

Šio eksperimentu buvo nustatinėjamas tarpo dydis, žinant tikslu tarpo dydi galima keisti suvirinimo parametrus, taip pat keisti roboto greiti, bei judėjimo trajektoriją. Išmatuoto tarpo dydis rankiniu būdu yra 5,4 mm. Naudojant filtrą, kuris apskaičiuoja taškų vidurkį, keičiant taškų skaičių iš kurių buvo apskaičiuojamas vidurkis, buvo nustatinėjamas tarpo dydis. Septintoje lentelėje pateikiami duomenys panaudojus vidurkio filtrą. Vienuoliktame paveiksle pateiktas septintos lentelės grafikas.

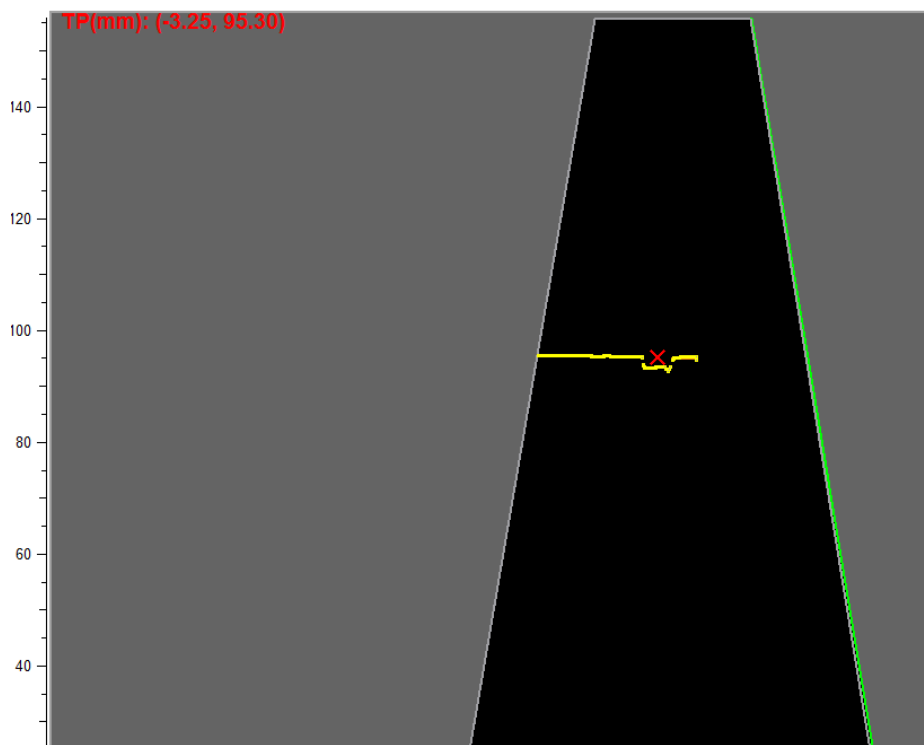
Tarpo priklausomybė nuo vidurkio filtro

Vidurkio filtras (px)	Gautas tarpas	Paklaida nuo etaloninio tarpo
0	5,9	0,5
1	5,7	0,3
2	5,6	0,2
3	5,8	0,4
4	5,5	0,1
5	5,4	0
6	5,4	0
7	5,3	-0,1
8	5,2	-0,2
9	5,2	-0,2
10	5,2	-0,2



3.11 pav. Tarpo priklausomybė naudojant atspindžio filtrą

Dvyliktame paveiksle pateiktas galutinis rezultatas panaudojus vidurkio filtrą, apskaičiuvus vidurkį iš 5 arba 6 taškų, gaunamas 5,4 mm tarpas. Kontūras su mažiausia paklaida išskiriamas, esant 60 Hz dažniui.



3.12 pav. Atliktu eksperimentų rezultatas

IŠVADOS

1. Išanalizuotos pramoninių robotų taikymo sritys įvairiose gamybos srityse;
2. Iširtos problemos kylančios automatizuojant paletavimo ir suvirinimo procesus;
3. Sukurtas algoritmas ir programa automatiniam roboto įrankio kalibravimui;
4. Atliktus eksperimentą nustatyta, kad paieška gali būti vykdoma iki 90 mm/s greičiu;
5. Eksperimento būdu nustatyta, kad pastačius lazerinę kamerą 14° laipsnių kampu, aptinkant blizgų paviršių gauta mažiausia roboto pozicijos paklaida.
6. Atlikus tyrimą nustatyta, kad mažiausia paklaida aptinkant blizgų paviršių gaunama esant 1.4 % atspindžio filtrui.
7. Atlikus eksperimentus siekiant nustatyti tarpą, panaudotas vidurkio filtras, apskaičiavus vidurkį iš 5 arba 6 taškų, gaunamas 5,4 mm tarpas. Kontūras su mažiausia paklaida išskiriamas, esant 60 Hz dažniui.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. LIU, Y., XI, N. and SHEN, Y. High-Accuracy Positioning of an Industrial Robot using Image/PSD-Based Hybrid Servo Control. *International Journal of Optomechatronics*, 04, 2011, vol. 5, no. 2. pp. 170-187 ISSN 15599612.
2. VIRA, N. Robots' End Point Sensing: Hardware and Software Techniques. *Computers in Industry*, 03, 1989, vol. 12, no. 1. pp. 1 ISSN 01663615.
3. AGAPAKIS, J.E., KATZ, J.M., FRIEDMAN, J.M. and EPSTEIN, G.N. Vision-Aided Robotic Welding: An Approach and a Flexible Implementation. *International Journal of Robotics Research*, 10, 1990, vol. 9, no. 5. pp. 17 ISSN 02783649.
4. CHAKRABORTY, N., AKELLA, S. and WEN, J.T. Coverage of a Planar Point Set with Multiple Robots Subject to Geometric Constraints. *IEEE Transactions on Automation Science & Engineering*, 01, 2010, vol. 7, no. 1. pp. 111-122 ISSN 15455955.
5. FRIDENFALK, M. and BOLMSJÖ, G. Design and Validation of a Universal 6D Seam-Tracking System in Robotic Welding using Arc Sensing. *Advanced Robotics*, 02, 2004, vol. 18, no. 1. pp. 1-21 ISSN 01691864.
6. P. A. Lasota, G. F. Rossano and J. A. Shah. Toward Safe Close-Proximity Human-Robot Interaction with Standard Industrial Robots. , 2014 ISBN 2161-8070. DOI 10.1109/CoASE.2014.6899348.
7. G. Buizza Avanzini, et al. Safety Control of Industrial Robots Based on a Distributed Distance Sensor. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2014, vol. 22, no. 6. pp. 2127-2140 ISSN 1063-6536.
8. H. Koch, et al. Multisensor Contour Following with Vision, Force, and Acceleration Sensors for an Industrial Robot. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2013, vol. 62, no. 2. pp. 268-280 ISSN 0018-9456.
9. Y. M. Zhao, Y. Lin, F. Xi and S. Guo. Calibration-Based Iterative Learning Control for Path Tracking of Industrial Robots. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2015, vol. 62, no. 5. pp. 2921-2929 ISSN 0278-0046.