

Projekts Augļu krūmu zaru griešanas kombains AgroBots (nr. 22-00-A01612-000021)

Rezultātu gala atskaite



NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS
Eiropas Lauksaimniecības fonds
lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

Projekta koordinators: Ansis Avotiņš (RTU)
Autori: A.Avotiņš, Mihails Gorobecs, Andrejs Stupāns, Arnis Dzalbs, Varis Barkovskis

Izmantoti materiāli un dati arī no visu pārējo partneru dalībniekiem.

Rīga, 2025

Saturs

Projekta pamatdati un mērķis	4
Agrobots programnodrošinājums	6
Datorredzes sensora izstrāde	6
Pirmais makets	6
Funkcionālās prasības robota datorredzes apakšsistēmai	8
Robota datorredzes modulis un apmācības rādītāji	10
Datorredzes attēlu datubāzes izveide un papildināšana	15
Robota vadības sistēmas	17
Agrobots mehānismu izstrāde.....	21
Pirmie ideju varianti	21
Rāmja dizains un nepieciešamie mehānismi efektīvai ražas novākšanai	25
Agrobots platformas un robota rokas sistēmas izstrādes process	27
Optimizētā versija.....	30
Ekspperimentālie testi un mērījumu dati laboratorijā	33
RTU vadības programmas un CV sensora testi	33
Stereokameras Intel RealSense D435 testi.....	33
Datorredzes moduļa algoritma izstrāde, testi un optimizācija	34
Agrobots vadības sistēmas testi.....	36
Robota vadības sistēmas un datorredzes moduļa izstrādes un testēšanas progress laboratorijā.	40
Robota vadības sistēmas optimizācija.....	42
Agrobots mehānismu izstrādes gaita un testa rezultāts.....	47
Agrobots testi un vadības programmas optimizācija un gala risinājums	50
Testi lauka apstākļos.....	64
Pirmais tests.....	64
Otrais tests SIA Zaptsmaize	66
Iegūto ražas datu novērtējums	73
Publicitātes pasākumi	75
Seminārs Nr.1.....	75
Noslēguma seminārs	76
Publikācijas.....	77
RTUCON 2023	77

RTUCON 2024	77
ERDV 2024	78

Projekta pamatdati un mērķis

Projekta nosaukums: Augļu krūmu zaru griešanas kombains AgroBots (22-00-A01612-000021).

Projekta koordinators: Rīgas Tehniskā universitāte (RTU)

Projekta partneri: SIA LATMAS, SIA Zaptsmaize, SIA Eninn, Z/S “Mežmalas-1”, LPKS “Rūjienas Oga”.

Projekta kopējais plānotais budžets: 486487.83 EUR

Projekta izpildes laiks: 01.07.2022. – 01.10.2025.

Projekta mērķis: ir izstrādāt, uzbūvēt un lauka apstākļos testēt augļu krūmu zaru griešanas iekārtu, kas spēj atpazīt griešanai paredzētos zarus, autonomi pieņemt lēmumu un veikt to nogriešanu.

Projekta laikā veicamas darbības:

1. Izstrādāt datora redzes (computer vision (CV)) sistēmas tehnisko un programmnodrošinājuma (algoritma) risinājumu augļu koku krūmu zaru atpazīšanai, izdalīšanai, trīs dimensiju (3D) lokalizēšanai un izsekošanai dažādos ārējās vides apstākļos.
2. Izstrādāt CV balstītu programmatūru (algoritmu) autonomai analīzei, novērtēšanai un lēmumu pieņemšanai, lai nogrieztu zarus, kas atbilst multikritēriju analīzes parametriem zaru griešanai.
3. Izstrādāt un uzbūvēt kustīgas platformas konstrukciju un robotizētu manipulatoru ar piemērotu brīvkustību daudzumu, lai aizsniegtu nepieciešamos krūma zarus.
4. Izstrādāt un konstruēt “mīkstās” satveršanas un griešanas rīku kā manipulatora aktīvā darba veicēju.
5. Izstrādāt programmatūru (algoritmu) trajektoriju aprēķiniem un vadībai katram manipulatora un griešanas mehānisma kustīgajam elementam precīzas satveršanas un griešanas nodrošināšana.
6. Prototipa kalibrēšana un testēšana lauka apstākļos gan smiltsērķšķu zaru griešanai, gan krūmmelleņu krūmu kopšanai.

Projekta apraksts:

Automatizācija un mehanizācija ir neizbēgama jebkuras industrijas attīstības sastāvdaļa. Projekta risinājums paredz rast mehanizētu un automatizētu risinājumu darbībām, kuras šobrīd tiek veiktas izmantojot manuālu darba spēku. Nav noslēpums, ka ar katru gadu palīgstrādnieku un sezonas strādnieku piesaiste lauksaimniecības darbos kļūst aizvien sarežģītāka. Šo darba roku pieejamības trūkums un pieaugošās izmaksas lauksaimniecības industrijā ir viens no galvenajiem turpmākas izaugsmes un pat izdzīvošanas izaicinājumiem, gan Latvijā, gan Eiropā.



Projekts paredz izstrādāt pilnībā jaunu, inovatīvu sistēmu – robotizētu zaru griešanas mehānismu, kas autonomi pieņem lēmumu par darbības veikšanu. Inovatīva ir gan risinājuma mehāniskā daļa – platforma ar robota manipulatoru un griezējmehānismu, gan

programmnodrošinājums un vizuālas atpazīšanas sistēma. Šobrīd tirgū nav pieejami automatizēti risinājumi smiltsērķšķu zaru griešanai ražas laikā, kā arī krūmmelleņu zaru izgriešanas starpsezonu periodā. Pēc projektā iesaistīto speciālistu domām, izstrādājamā iekārta varēs veikt abus uzdevumus.

Projekta realizācijas un izstrādes gaita ir secīgi atspoguļota 12 Maksājumu Pieprasījuma Saturiskās atskaites dokumentos:

- MP1_8_pielikums_Agrobot_07-09.2022.
- MP2_8_pielikums_Agrobot_10-12.2022.
- MP3_8_pielikums_Agrobot_01-04.2023. FINAL
- MP4_8_pielikums_Agrobot_05-06.2023_FINAL
- MP5_8_pielikums_Agrobot_07-09.2023_FINAL
- MP6_8_pielikums_Agrobot_10-12.2023_FINAL
- MP7_8_pielikums_Agrobot_01-03.2024_FINAL
- MP8_8_pielikums_Agrobot_04-06.2024_FINAL
- MP9_8_pielikums_Agrobot_07-09.2024_FINAL
- MP10_8_pielikums_Agrobot_10-12.2024_FINAL_precizets
- MP11_8_pielikums_Agrobot_1-3.2025_FINAL
- MP12_8_pielikums_Agrobot_4-6.2025_FINAL

MP13 – ir izveidota pilnā gala atskaite ar gala rezultātiem (šis dokuments).

Projekta partneru kontaktinformācija:

Partneris	Pārstāvis	e-pasts
Rīgas Tehniskā universitāte	Ansis Avotiņš (proj. vadītājs)	Ansis.avotins@tu.lv
SIA LATMAS	Varis Barkovskis	sales@lamtas.lv
SIA Zaptsmaize	Arnis Dzalbs	dzalbs@gmail.com
SIA Eninn	Edgars Kudurs	edgars.kudurs@gmail.com
Z/S “Mežmalas-1”	Andrejs Brūvelis	andrejsbruvelis@gmail.com
LPKS “Rūjienas Oga”	Agnis Vikmanis	agnis.vikmanis@gmail.com

Projekta partneru galvenie veiktie uzdevumi

RTU veica Agrobots sistēmas programmatūras izstrādi, datora redzes tehniskā risinājuma izstrādi, programnodrošinājuma (algoritma) izstrādi manipulatoram un griezējmehānismam, prototipa kalibrēšanu un testēšanu laboratorijā un lauka apstākļos. SIA LATMAS izstrādāja Agrobots tehnisko un mehānisko risinājumu mežglus, veica montāžu, nodrošināja tehniskos darbus testēšanai lauka apstākļos. SIA Zaptsmaize un SIA Eninn veica iekārtu testēšanu, lietošana, regulēšanu lauka apstākļos (abās testa vietās), nodrošinot arī saistītas sagatavošanas darbības, kā arī piedalījās AI datorredzes risinājuma apmācības procesā. "MEŽMALAS-1", z/s piedalījās griešanas loģikas algoritma izstrādē, piedalījās AI datorredzes risinājuma apmācības procesā, ņemot vērā auga fizioloģijas prasības, lai kontrolēt veikto izstrādņu savietojamību ar rezultātu. LPKS “Rūjienas oga” nodrošināja konsultācijas tehniskā risinājuma izveidē, izvērtējot no iegūtās produkcijas un industriālās apstrādes viedokļa, sniedza uzlabojumu

priekšlikumus, piedalījās AI datorredzes risinājuma apmācības procesā. Sīkāks apraksts par rezultātiem aprakstīts nākamajās sadaļās.

Agrobots programmnodrošinājums

Datorredzes sensora izstrāde

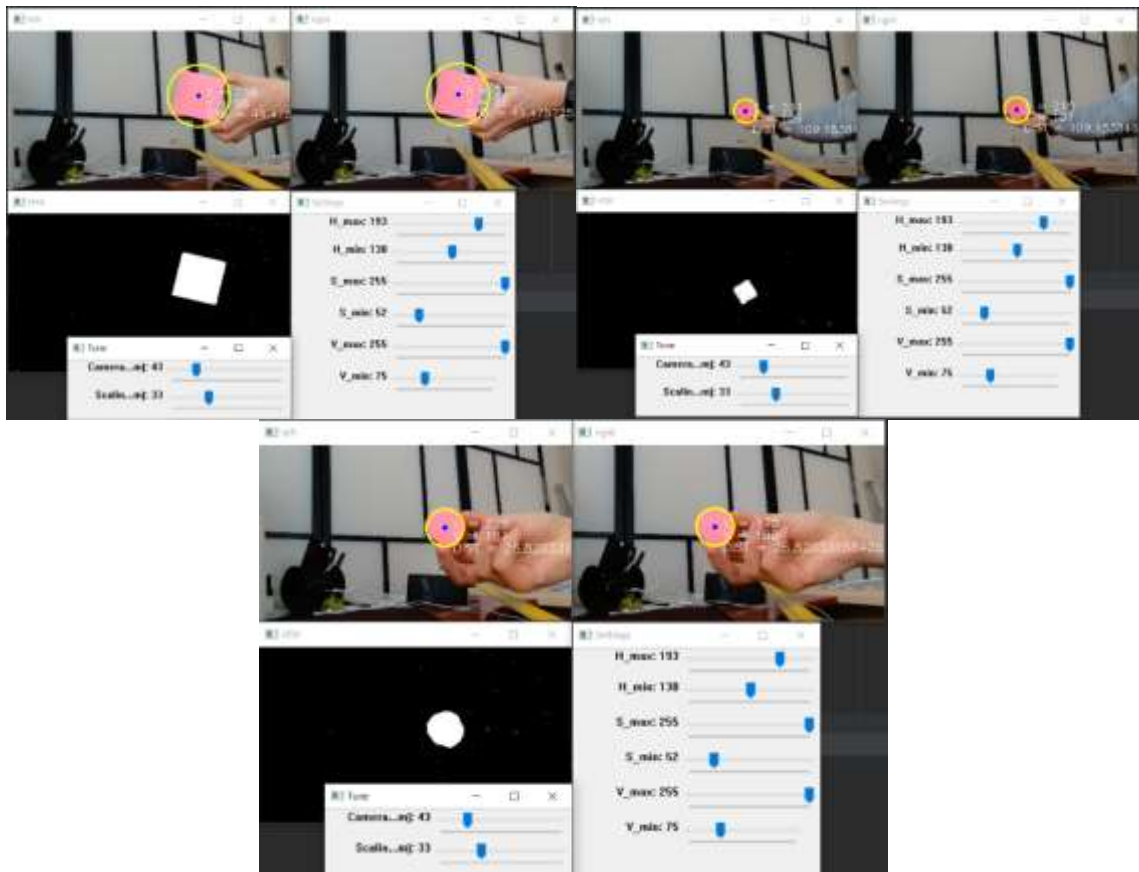
Pirmais makets

Pirmajiem testiem tika izveidota laboratorijas maketa attēlu atpazīšanas sistēma, kas var atpazīt attālumu līdz objektam, izmantojot stereo attēlu. Stereo attēla iegūšanai tiek izmantotas divas paralēli novietotas 4k kameras. Stereo kamera kopē cilvēka acu darbību, lai sniegtu precīzu dziļuma uztveri. Tā tiks uzstādītā uz robota rokas un nodrošinās vadībai nepieciešamas informācijas iegūšanai, griezes vietu noteikšanai un tēmēšanai.



Att. 0-1. Datorredzes (CV) sensora makets un izmantotā testa stereo kamera.

Objekts tiek atpazīts vienlaikus labajā un kreisajā attēlā. Objekta pozīcija katrā no attēliem drusku atšķirsies, un jo lielāka ir atšķirība, jo tuvāk tas atrodas. Objekta attālums no kamerām tiek aprēķināts izmantojot triangulāciju, un rezultāts tiek izvadīts uz attēla. Objekta atpazīšanai izmantots regulējams krāsas filtrs. Objekta centrs ir pieņemts kā tā ģeometriskās formas apvilkta riņķa cents. Stereo kamera ļauj izvairīties no papildus sensoriem, tādiem kā lāzera vai ultraskaņas attāluma sensori. Tādi sensori mēra attālumu tikai līdz tuvākajam punktam, uz kuru ir tēmēti. Stereo kamerai ir pieejams vesels datu masīvs platā redzes lokā, kuru var izmantot vienlaikus vairāku objektu sekošanai un to parametru (attālums, forma, krāsa, izmērs) noteikšanai.



Att. 0-2. Stereo attēls un testi pamatparametru noteikšanai

Ar divu kameru palīdzību tiek izveidots stereo attēls turpmākai dziļuma kartes izstrādei. Dziļuma karte piešķir pikseļiem individuālo dziļuma vērtību, tādēļ salīdzinot pikseļu vērtības var secināt kura pikseļu kopa atrodas tuvāk kamerai. Šī daļas realizācijai tika uzrakstītas trīs eksperimentālās programmas. Pirmā programma atbild par vienlaicīgu divu kameru attēlu uzņemšanu, lai pēc tam tos attēlus izmantot kameru savstarpējai kalibrēšanai. Otrā programma veic kameru savstarpējo kalibrēšanu izmantojot datorredzes algoritmus. Trešā programma atbild par dziļuma kartes izveides un attēlošanas.



Att. 0-3. Stereo attēla un testi turpmākai dziļuma kartes izstrādei

Funkcionālās prasības robota datorredzes apakšsistēmai

Vairākās visu projekta partneru darba sapulcēs tika definētas funkcionālās prasības robota datorredzes apakšsistēmai un definēti pamatmoduļi.

Datorredzes apakšsistēmas aparātūras daļa sastāvēs no šādām komponentēm:

- Vairākas statiskas kameras, kas atrodas uz manipulatora bāzes līnijas (paralēli zemei)
- Stereo kamera atrodas manipulatora pēdējā segmentā pirms griezēja
- Iegultais rūpnieciskais daturs datu apstrādei

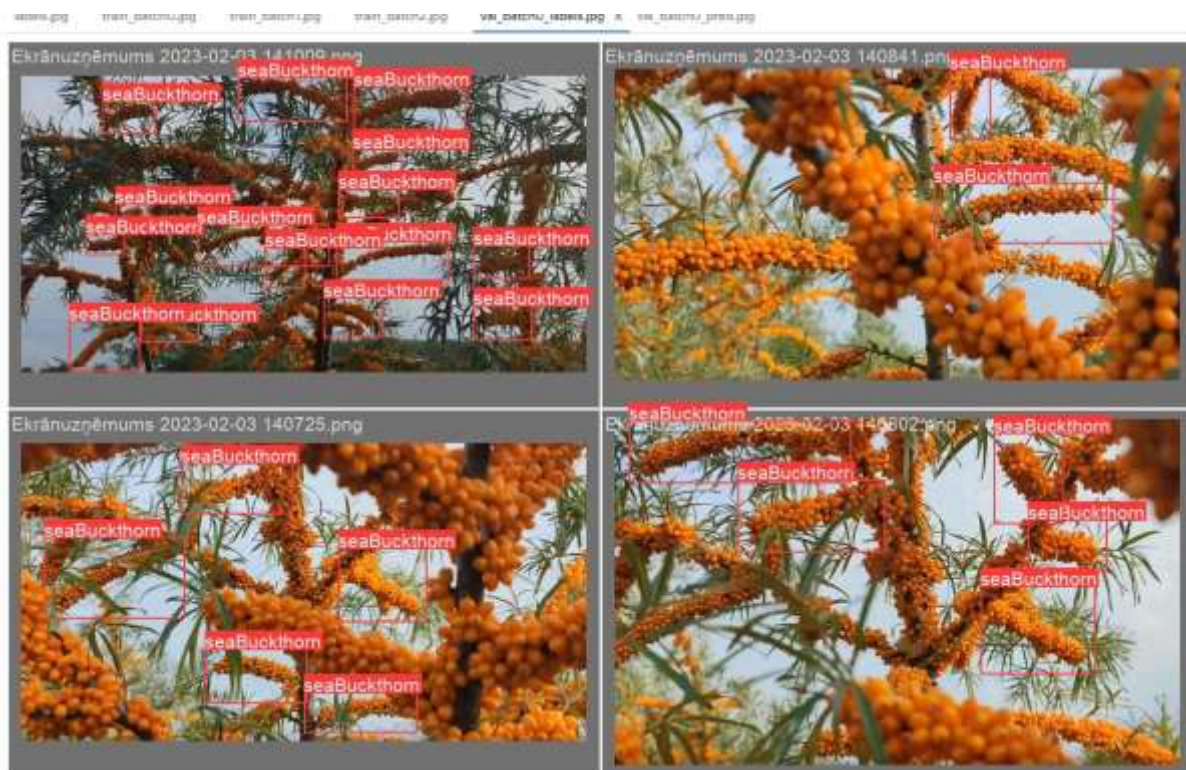
- Iespējams: sensori - infrasarkanie sensori, ultraskaņas sensori, gaismas intensitātes sensori

Darbībā datorredzes apakšsistēma:

- Atpazīst atsevišķu zaru un griešanas vietu
- Atrod 3D telpā atsevišķo zaru
- Analizē un izvērtē nepieciešamību to nogriezt
- Nosaka griešanas vietas 3D pozīciju
- Nosaka zara virzienu griešanas vietā 3D telpā
- Spēj izsekot atrastus objektus
- Aprēķina mērķa koordinātas stereokameras 6 brīvības pakāpju pozīcijai, t.i., griezēja segmenta pozīcijai.

Atpazīšanas funkciju izpildīs neironu tīklu modulis. Koka novērtēšanai, griežamo zaru atpazīšanai kā arī griezuma vietas noteikšanai plānots izmantot trīs specializētus neironu tīklus.

Ir izstrādāta neironu tīklu un to apmācības sistēma un veikti pirmie testi virtuālajā vidē ar potenciāli griežamu smiltsērķšķu zaru atpazīšanu. Apmācībai tiek veikta apmācības datu kopas izstrāde un organizācija. Pēc aptuveni 500 smiltsērķšķu attēlu apkopošanas (t.sk. projekta Z/S partneru arhīvi) un to zaru atzīmēšanas, kas ir piemēroti ražas novākšanai, attēli tika ievadīti dziļās apmācības neironu tīkla sistēmā, kas apmāca neironu tīklu atpazīt atsevišķus zarus uz smiltsērķšķu koka un aptuveni noteikt to pikseļu koordinātes.



Att. 0-4. Smiltsērķšķu attēlu apstrādes piemērs

Eksperimenti veikti ar video palīdzību, kas filmēti smiltsērķšķu laukā. Programmatūra varēja nepārtraukti atrast vairākus zarus, kas ir piemēroti ražas novākšanai. Tomēr noteikšanas ātrums pagaidām salīdzinoši zems: 2 kadri sekundē.

Veikta datorredzes moduļa pilnveidošana ar modificētu zaru atpazīšanas neironu tīklu un izstrādāts otrā līmeņa neironu tīkls, kurš ir spējīgs noteikt potenciālas zaru griešanas vietas. Izveidota apmācības kopa, kuru plānots palielināt, sadarbojoties ar smiltsērķšķu audzināšanas ekspertiem. Pielāgota vide ar iespēju pievienot jaunas bildes un atzīmēt nepieciešamos objektus – zarus un griešanas vietas. Tas ļaus palielināt noteikšanas precizitāti.



Att. 0-5. Smiltsērķšķu attēlu apstrādes piemērs no citiem skatpunktiem

Bildēs var redzēt, kā ar zaļo krāsu (marķieris *SeaBuckthorn*) parādīti zari, bet ar gaiši zilo (marķieris *CutPlace*) ir atrastas griešanas vietas. Pagaidām ne visiem zariem ir iespējams noteikt griešanas punktu.

Robota datorredzes modulis un apmācības rādītāji

Datorredzes modulim definētas šādas pamatfunkcijas:

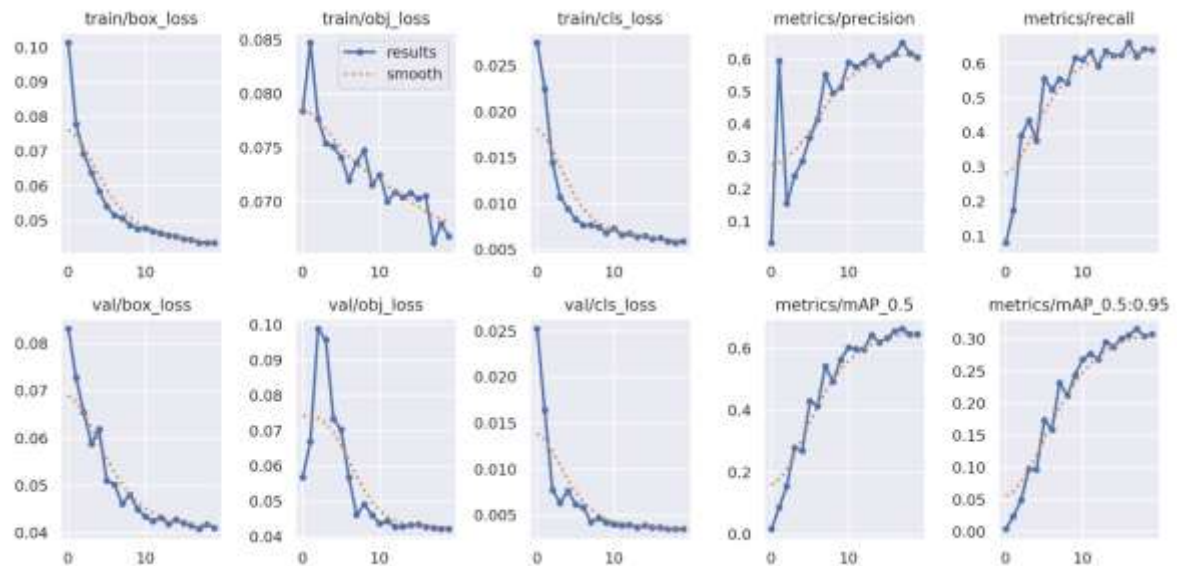
- Atpazīt atsevišķu zaru
- Atpazīt iespējamo griešanas punktu
- Atrast 3D telpā atsevišķo zaru
- Noteikt griešanas vietas 3D pozīciju
- Analizēt un izvērtēt nepieciešamību to nogriezt
- Noteikt zara virzienu griešanas vietā 3D telpā
- Izsekot atrastus objektus
- Aprēķināt mērķa koordinātas stereokameras 6 brīvības pakāpju pozīcijai, t.i., griezēja segmenta pozīcijai

Atsevišķo zaru, griešanas punkta izvietošanas noteikšanas un griešanas nepieciešamības izvērtēšanas funkciju ietvaros tika izmantots neironu tīkls. Tas tika apmācīts, izmantojot laukā iegūto smiltsērķšķu ogu attēlu kopu, un to marķējumu, kas veido datubāzi no vairāk kā 2900 marķētām fotogrāfijām. Neironu tīkls spēj noteikt arī griešanas vietu, t.i. vietu, no kura noteikts

zars aug no cita zara vai stumbra. Divos attēlos zemāk ir atpazīšanas rezultāti un to raksturojošie kvalitātes rādītāji.

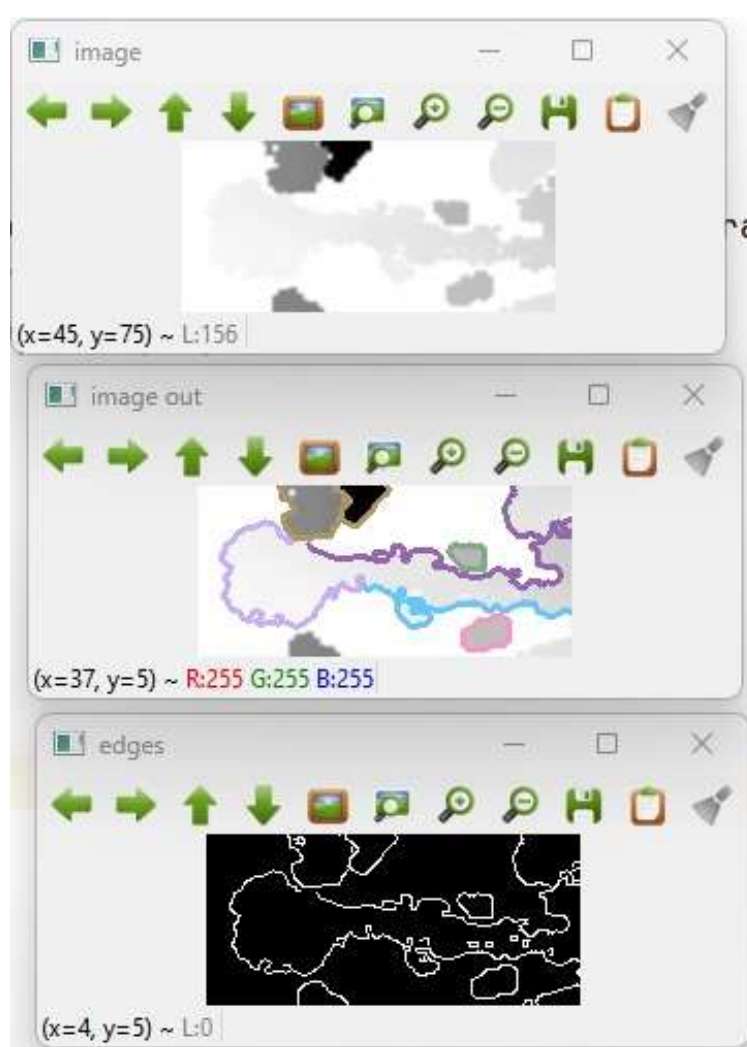
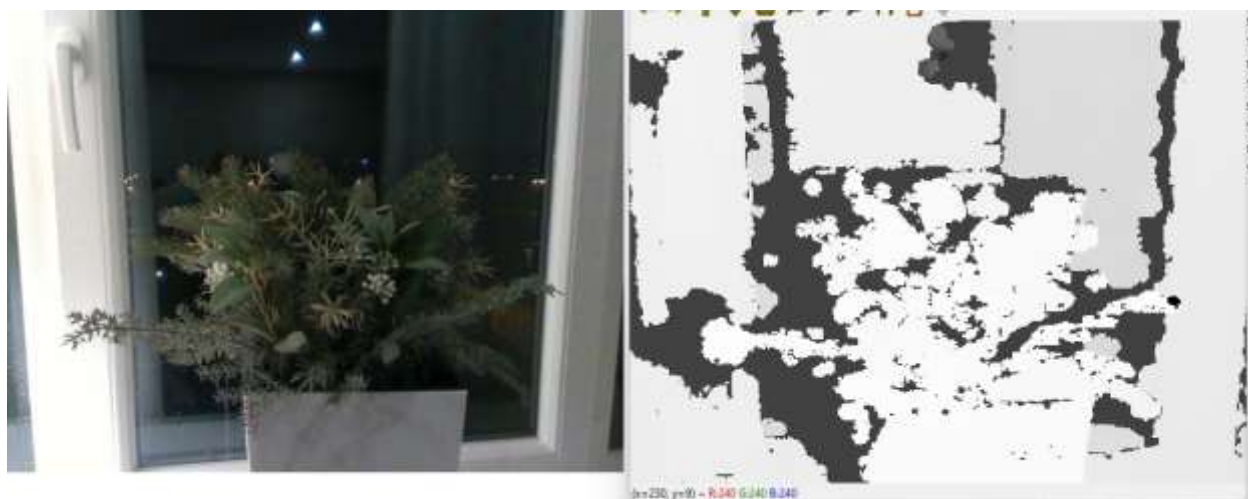


Att. 0-6. Att.4 Neironu tīkls atpazīšanas procesa vizualizācija, klasifikācija to atpazīšanas precizitāte.



Att. 0-7. Att.5 Apmācības rādītāji. Konverģence, kļūdas, apmācības kļūdas un jaunas datu atpazīšanas kļūdas.

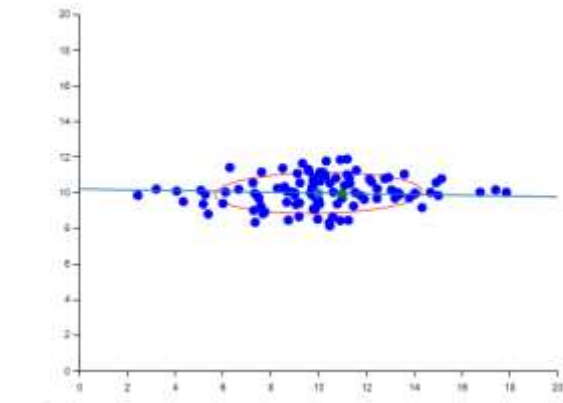
3D smiltsērķšķu krūma analīzei tiek izmantota dziļuma stereo kamera, ar kuras palīdzības iegūta novērotā attēla dziļuma karte. Zemāk redzamajā attēlā redzams auga attēls un tā dziļuma karte, kas pārveidota pelēktoņu attēlā, izmantojot OpenCV metodes. Pelēktoņu izmanto, lai vizuāli attēlotu darba posmus.



Att. 0-8. Apmācības rezultātu vizualizācija

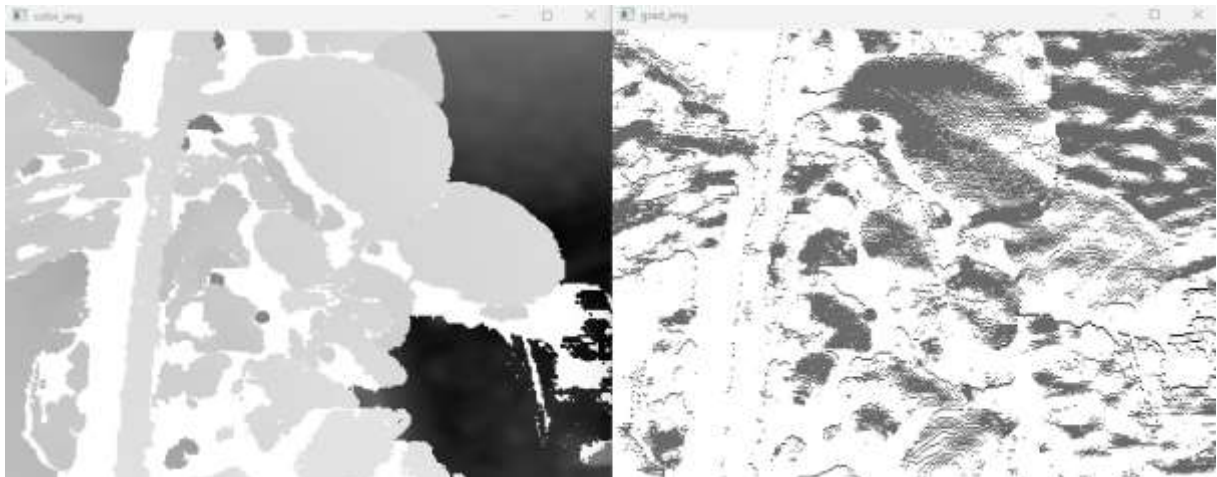
Izmantojot dziļuma atšķirību, no attēla plānots iegūt precīzas ogu zara kontūrus, kā tas redzams zemāk esošajos eksperimentos.

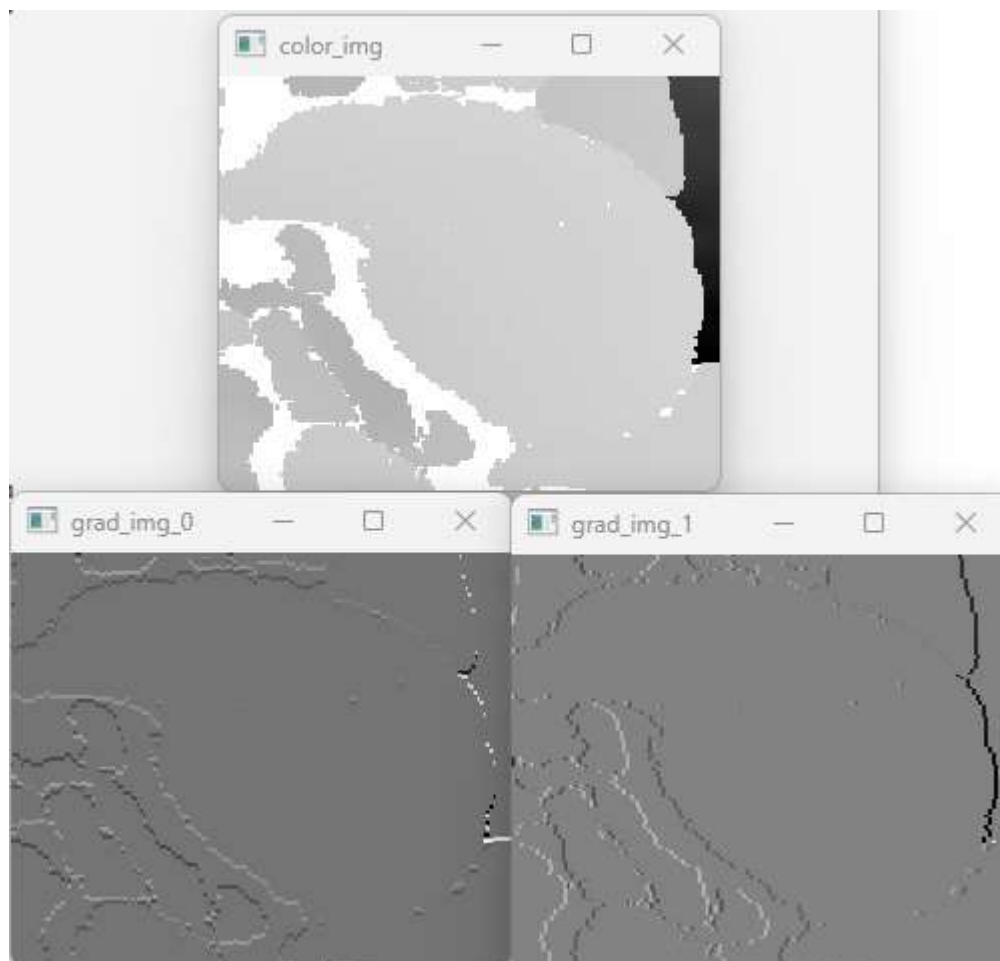
Novērtēšanai un turpmākai griešanai svarīgs parametrs ir ogu zara augšanas virziens. Ja noliecies uz leju, tad jānovāc, citādi var atstāt augt. Tā kā dziļuma karte pēc būtības ir liels punktu mākonis, tad, izvēloties tos punktus, kas atrodas noteiktā sliekšņa robežās, ir iespējams ap tiem uzzīmēt vienādi izvietotu elipsi un no tā iegūt augšanas virzienu.



Turpmākajā izstrādē noteikts zara virziens ļaus izrēķināt griezēja un citu robota manipulatora locītavu pagriešanas leņķus.

Tālāk tiek izstrādāts algoritms, zara augšanas virziena noteikšanai. Tas ļauj izdalīt objektu no apkārtējās vides izmantojot mākslīga intelekta klasterizācijas darbības principu. Funkcionalitātes pārbaudei šajā posmā neironu tīkls tika apmācīts atpazīt cita auga lapas, jo ziemas periodā smiltsērķšķu krūmi nebija pieejami.





Pēc objekta atpazīšanas noteikts augšanas virziens.



Pārbaude pierāda metodes spēju darboties reālam objektam. Izstrādāta metode tiks pārnesta uz smiltsērkšķu krūma zaru augšanas virziena atpazīšanu.

Datorredzes attēlu datubāzes izveide un papildināšana

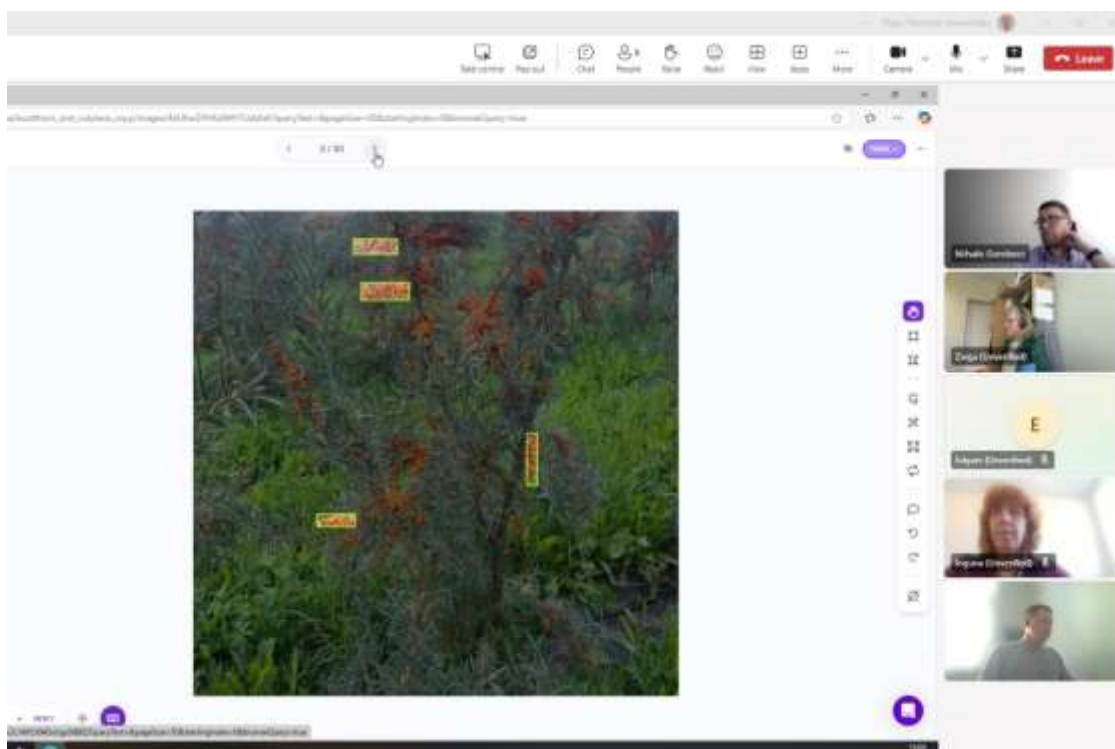
22.08.2023 - Brauciens uz Jaunjurģukalnu, kur tika nofotografēti (vairāk kā 1500 attēli, vairāk kā 2,4Gb materiāla) krūmi NT apmācīšanai, kā arī nofilmēti krūmi NT testēšanai un pārbaudīta RealSense kamera, kas tiks izmantota datorredzes sistēmai.

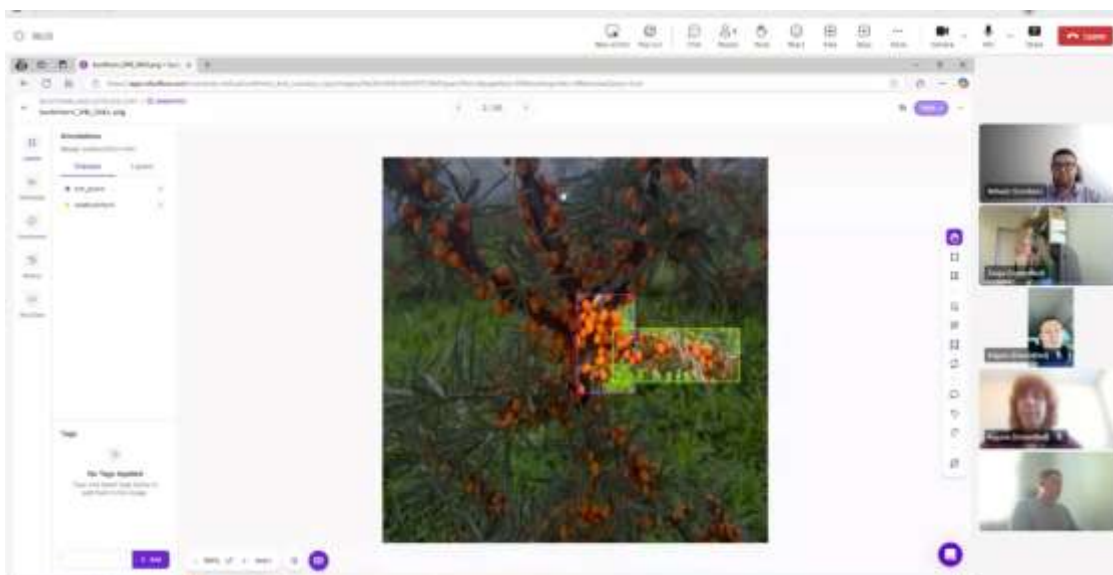




Att. 0-9. Smiltsērķšķu attēlu datubāzes attēlu iegūšanas process.

CV mākslīgā intelekta algoritma/moduļa apmācība ar regulāru/periodisku partneru (SIA Eninn, Z/S Mežmalas, SIA Zaptsmaize, Rūjienas Oga) iesaisti, iegūti, augšupielādēti, analizēti attēli, konkrēto griešanas vietu identificēšana, ekspertīze, marķēšana, kļūdu labošana, lai izveidotu nepeiciešamo attēlu datubāzi mākslīgā neironu tīkla apmācībai un precīzākai zaru griešanas identificēšanai. Zemāk piemērs no darba procesa.

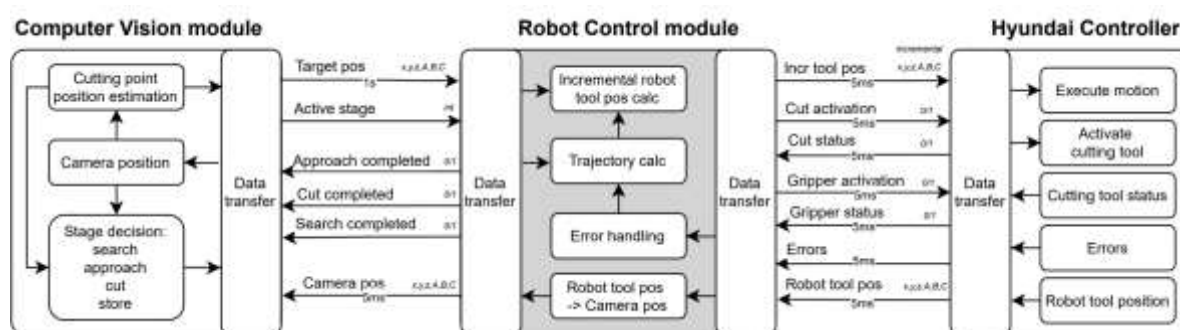




Att. 0-10. Partneru sapulces un “eksperta viedokļa” integrācija sensora apmācībai.

Robota vadības sistēmas

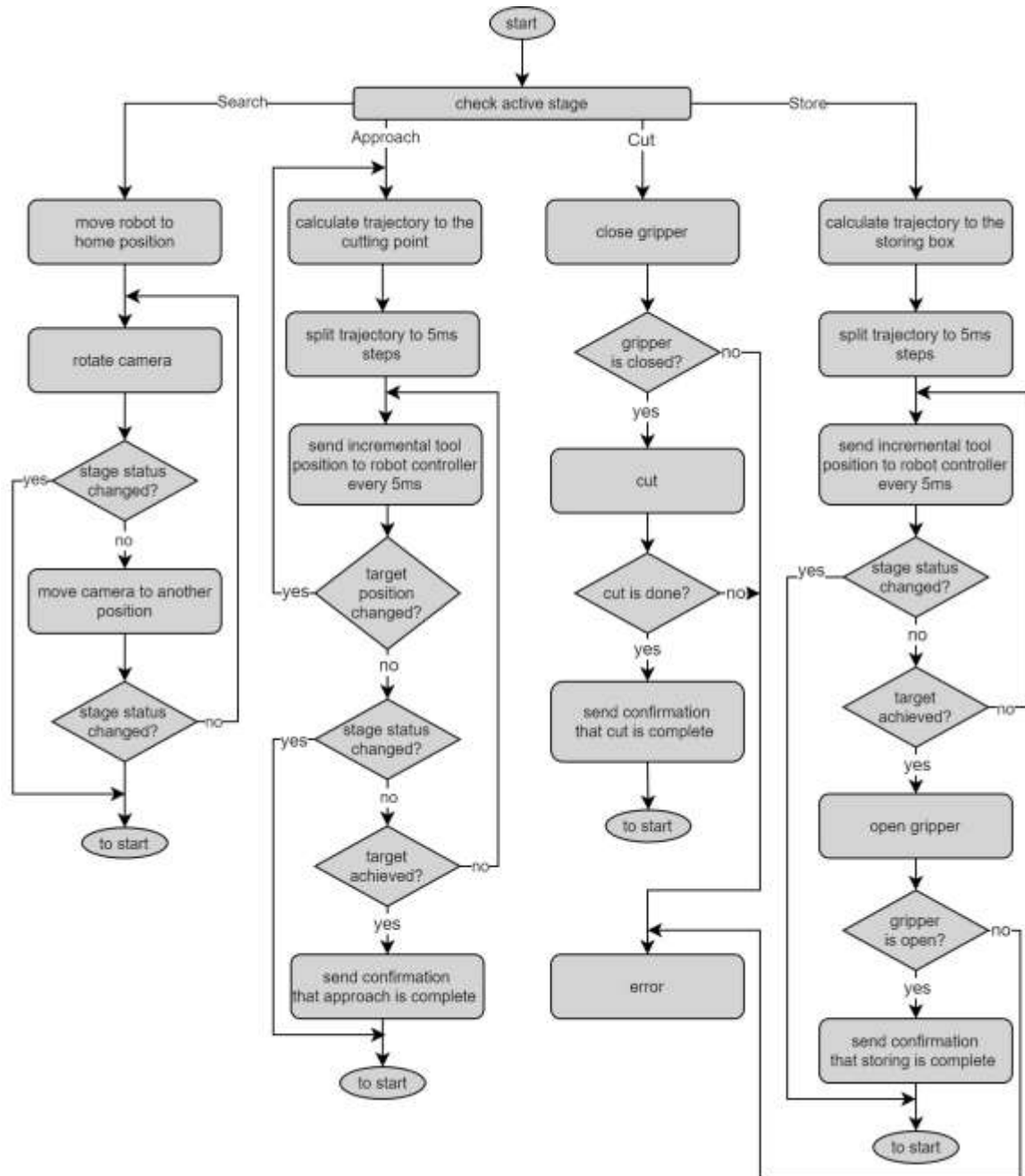
Tika definēts datu pārraides interfeiss starp robota vadības programmas moduli un datorredzes moduli. Shēmu var redzēt 1.att. Datu redzes modulis atpazīs griešanai piemērotus zarus, noteiks griešanas vietu, ar stereokameras palīdzību aprēķinās griešanas vietas precīzas koordinātes un pados vadības signālus. Tomēr datorredzes modulis nekomunicēs ar robotu pa tiešo. Robota vadības modulis ir starpprogramma, kas nodrošina robota vadību un komunikāciju starp robotu un datorredzes moduli. Tāda pieeja dod iespēju izstrādāt abus moduļus paralēli, kā arī atvieglo datorredzes moduļa sarežģītību.



Att. 0-11. Robota vadības interfeiss

Tika izstrādāta un saskaņota pirmā versija robota vadības algoritmam. Algoritms redzams 2.att. Robota darbība ir sadalīta 4 galvenajās fāzēs – *Meklēšana*, *Tuvošanās*, *Griešana* un *Savākšana*. Robota vadības modulis (RCM) darbojas atbilstoši aktīvajai fāzei. Visi galvenie lēmumi par robota darbību tiek pieņemti *Computer Vision modulī* (CVM). CVM izlemj, kuru fāzi aktivizēt, un sūta attiecīgo signālu uz RCM. *Meklēšanas* fāzē RCM pārvieto kameru tā, lai CVM varētu

atrast zarus, kurus var nogriezt. Kad CVM atrod zaru, tad tiek aktivizēta *Tuvošanas* fāze. RCM plāno robota trajektoriju un veic kustību, lai tuvotos zara griešanas punktam. Kad robots sasniedz griešanas pozīciju, CVM aktivizē *Griešanas* fāzi. RCM izpilda griešanas secību un apstiprina griešanas pabeigšanu. Pēc tam CVM aktivizē *Savākšanas* fāzi. RCM aprēķina trajektoriju un veic robota kustību līdz uzglabāšanas kastei, kur zars tiek novietots. Pēc tam CVM atkārti ciklu, sākot no *Meklēšanas* posma, kamēr viss krūms netiek apstrādāts.



Att. 0-12. Robota vadības algoritms

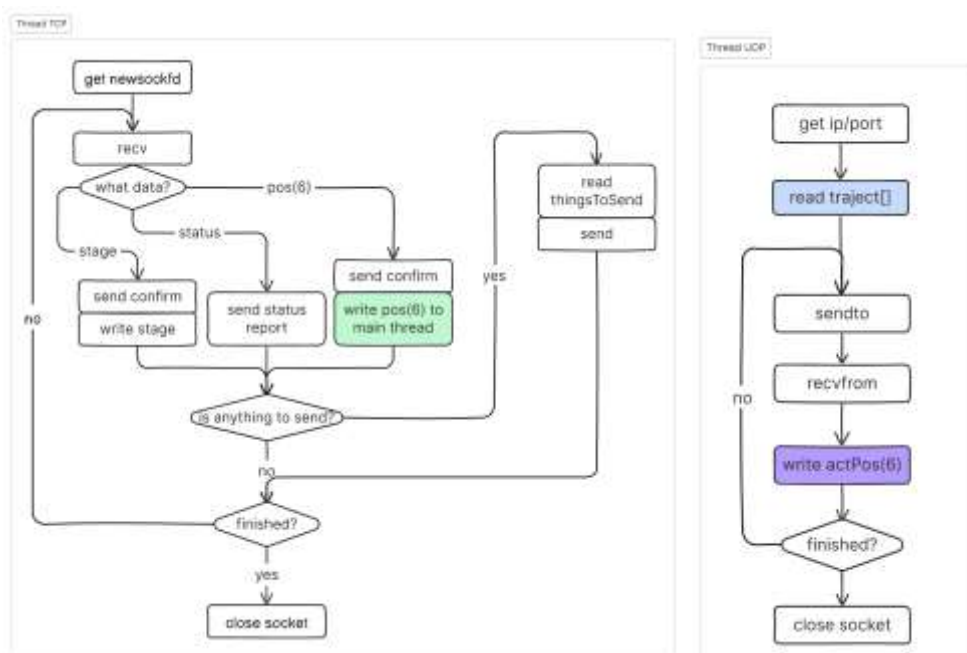
Robota vadības programmatūra ir sadalīta trīs daļās:

1. Datorredzes modulis (DM), kas atbild par Agrobot'a kopējo darbību. Tā apstrādā attēlu no kamerām, atrod griešanas punktu, pieņem lēmumus par Agrobot'a darbības režīmu. Tiek rakstīts Python valodā.
2. Robota vadības modulis (RVM), kas atbild par robota rokas tiešo vadību. RVM saņem komandas no DM un izpilda robota kustības. Tiek rakstīts C++ valodā
3. Robota kontrolleris, kas atbild par fizisko robota kustināšanu. Saņem komandas no RVM un izpilda.

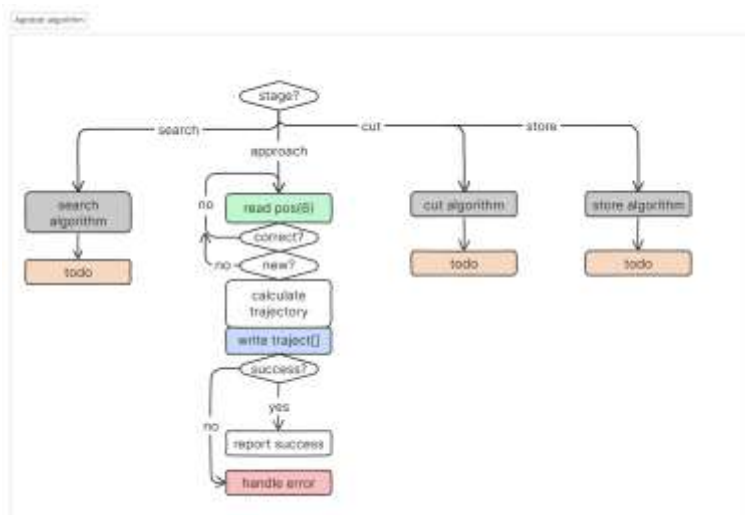
Kamēr robota kontrolleris vēl nebija pieejams, oktobrī-decembrī tika saprogrammēta komunikācija starp DM un RVM. Tā kā moduļi tiek rakstīti dažādās valodās (Python un C++), tika izlemts izmantot “spraudņu” komunikāciju. Tika izlemts palaist abus moduļus uz viena datora, jo tā jauda jābūt pietiekama. Tomēr, ja būs nepieciešams sadalīt moduļus divos datoros, ar “spraudņiem” to būs viegli izdarīt.

RVM modulī ir izveidoti divi spraudņi: pirmais TCP un otrais UDP. TCP spraudnis tiek izmantots komunikācijai ar datorredzes moduli. TCP dizains tika izvēlēts, jo tas dod iespēju pārraidīt datus un komandas abos virzienos bez kļūdām. Ja pārraides laikā rodas kļūda – dati tiek pārsūtīti vēlreiz. UDP spraudnis tiek izmantots komunikācijai ar robota kontrolleri. Robota kontrolleris pierpasa UDP spraudni, jo tas ir daudz ātrāks par TCP. Robota kontrollerim jāsaņem jauna robota pozīcija katras 5ms. Tieši tādēļ Robota vadības modulim tika izlemts rakstīt kodu C++ valodā, nevis Python, jo C++ var garantēt ātru koda izpildi un paspēt izpildīt visas metodes 5ms laikā.

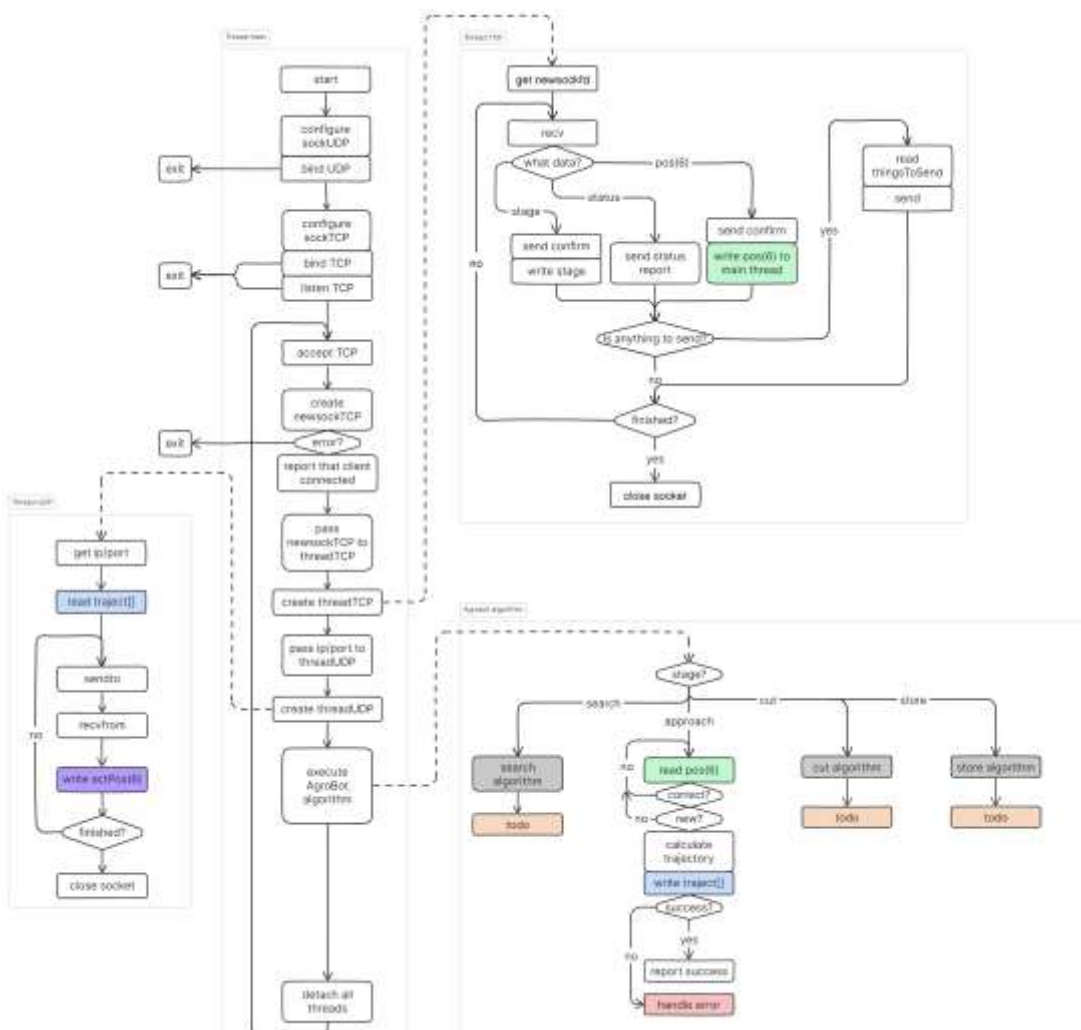
Komunikācija starp DM un RVM darbojas korekti. Tomēr komunikācija ar robota kontrolleri būs jāpārbauda, kad robots būs pieejams klātienē. Abi spraudņi darbojas paralēli (izmantojot “Linux POSIX threads”), lai komunikācija neapturētu kopējo programmas izpildi. Zemāk var redzēt Robota vadības moduļa (RVM) iekšējo darbības struktūrhēmu. Tas, kas vēl nav realizēts ir atzīmēts ar dzelten-oranžu krāsu “todo” (attēlos 2-9, 2-10 un 2-11).



Att. 0-13. TCP un UDP spraudņi



Att. 0-14. Agrobots vadības algoritms, saņemot komandas no datorredzes moduļa

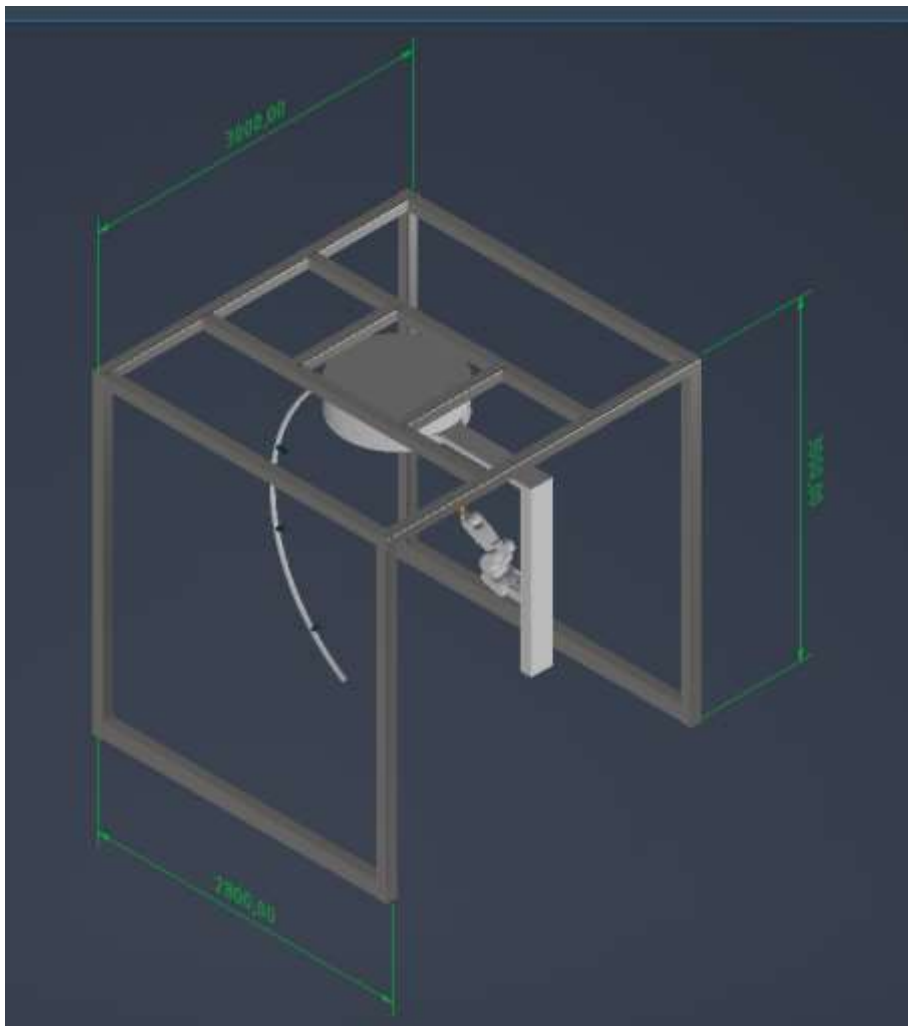


Att. 0-15. Kopēja struktūrshēma Robota vadības modulim

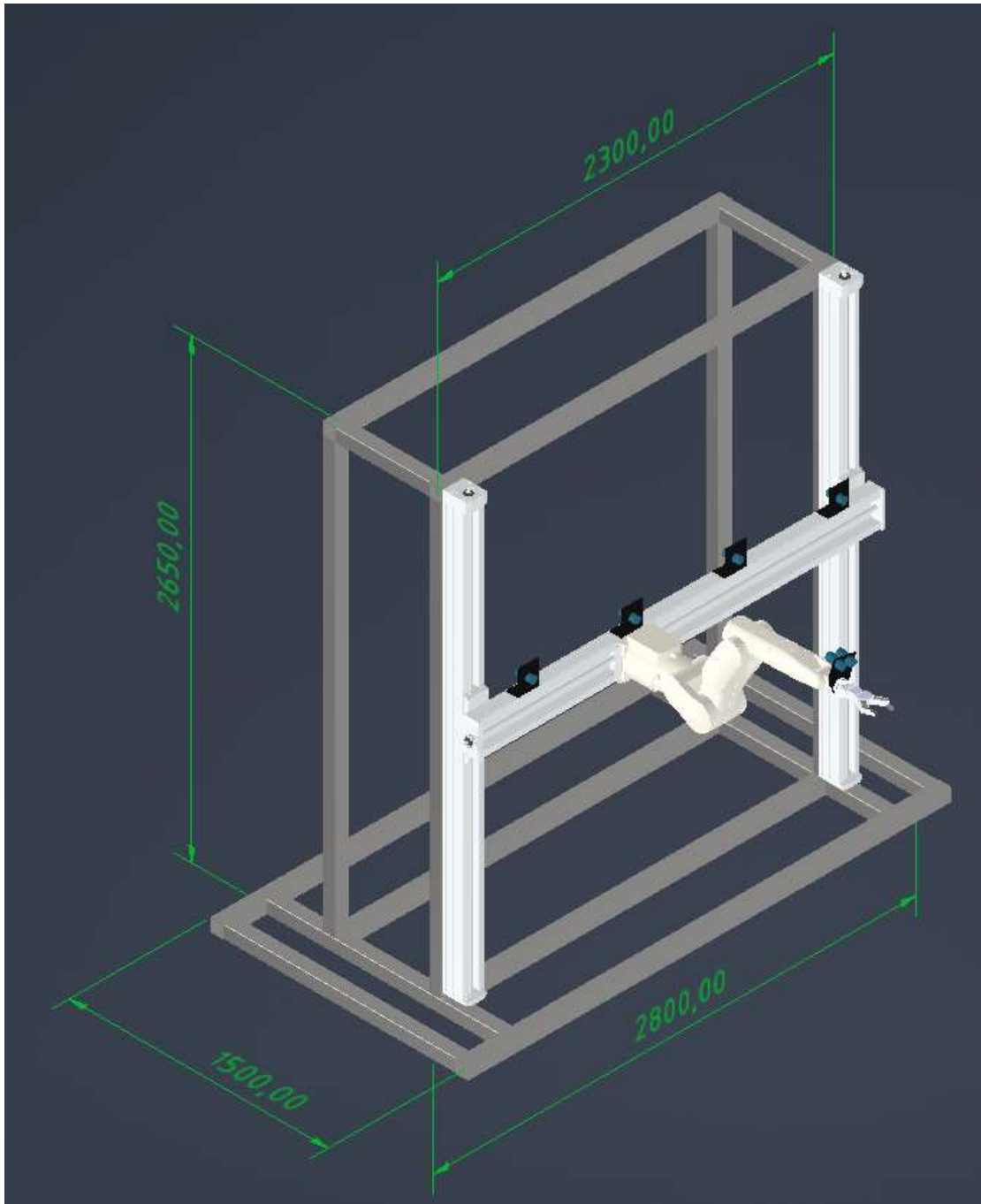
Agrobots mehānismu izstrāde

Pirmie ideju varianti

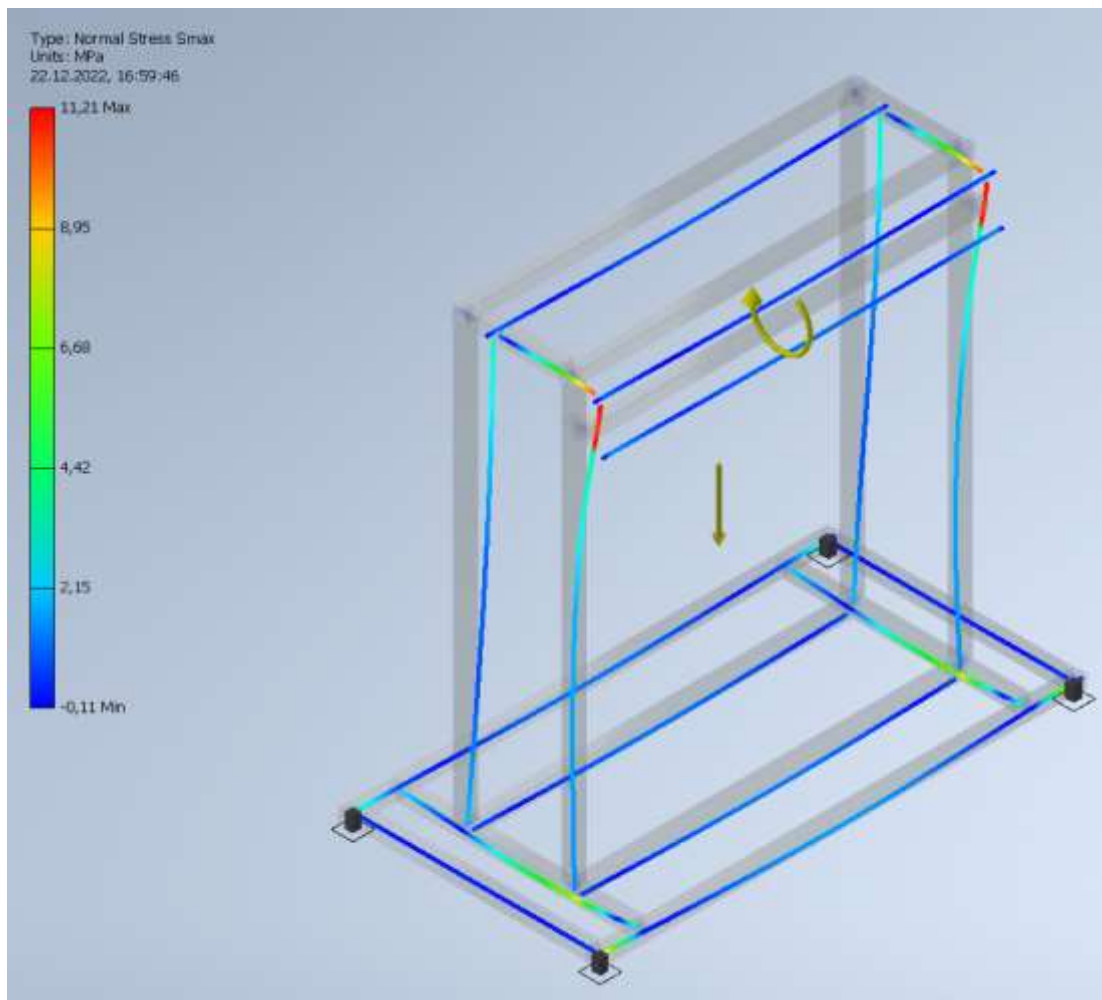
Projekta sākumā tika veikti izmeklējumi iekārtas satvērēja un rāmja tehniskai specifikācijai, konstrukcijas stiprības nodrošināšanai un veikta projektēšana vairākiem risinājuma variantiem.



Att. 0-16. Variants 1



Att. 0-17. Variants 2



Att. 0-18. Slodžu aprēķini

No rasējumiem un slodžu aprēķiniem tika veikti secinājumi:

- Pirmā iekārtas rāmja variantā tika secināts ka:

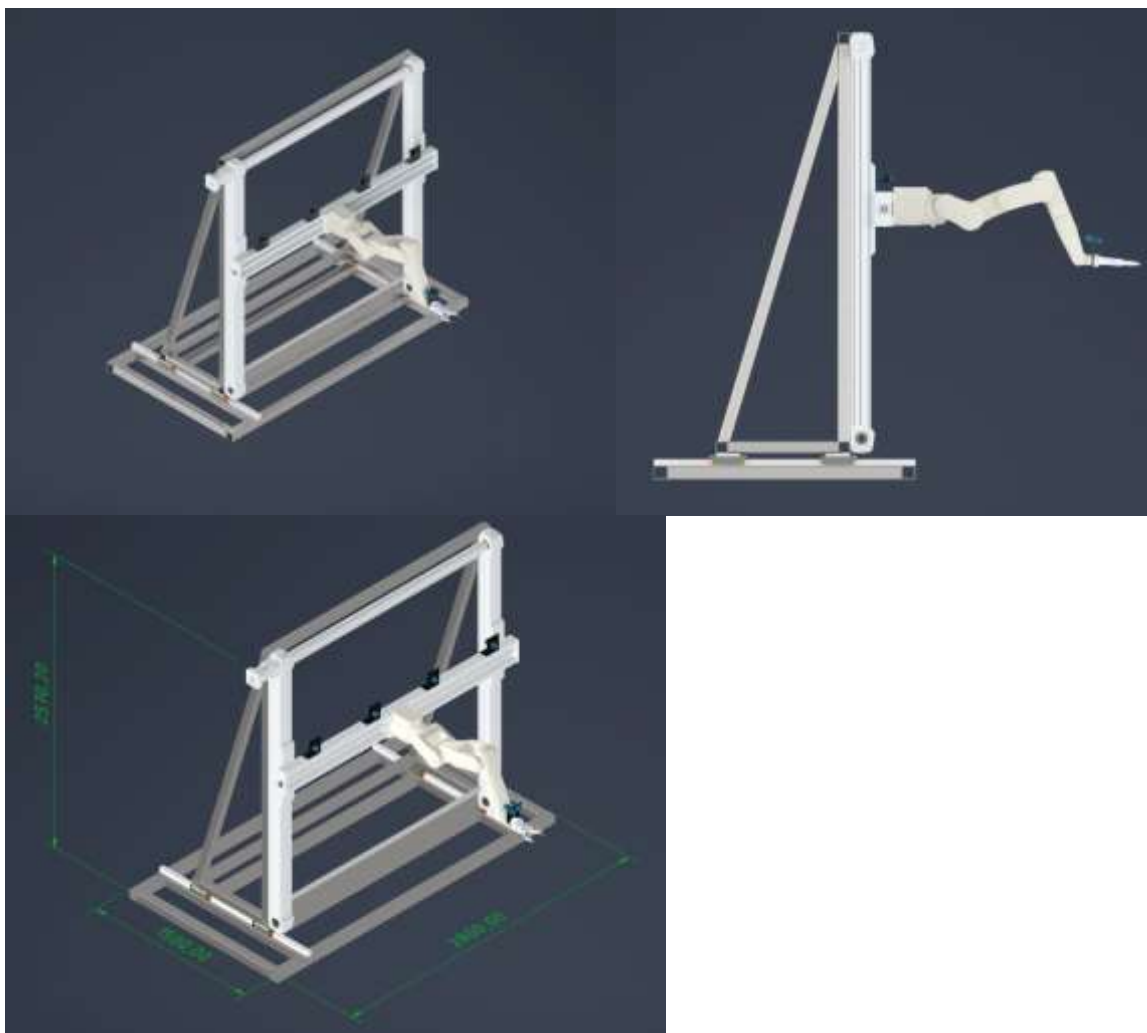
Iekārtas rāmja augstums sastādīs 3m, platums 2,8m un garums 3m, neieskaitot papildelementus kas tiks pievienoti piem. transportieri, kastes, utt. sastādīs lielus gabarītus kas apgrūtinās iekārtas darbību lauka ietvaros un tās transportēšanu no viena lauka uz otru.

- Otrā iekārtas rāmja variantā tika secināts ka:

Iekārta būs salīdzinoši mazāka un būs atvieglota transportēšana.

Tālāk tika veikti izmeklējumi iekārtas satvērēja un rāmja tehniskai specifikācijai, konstrukcijas stiprības nodrošināšanai un veikta projektēšana.

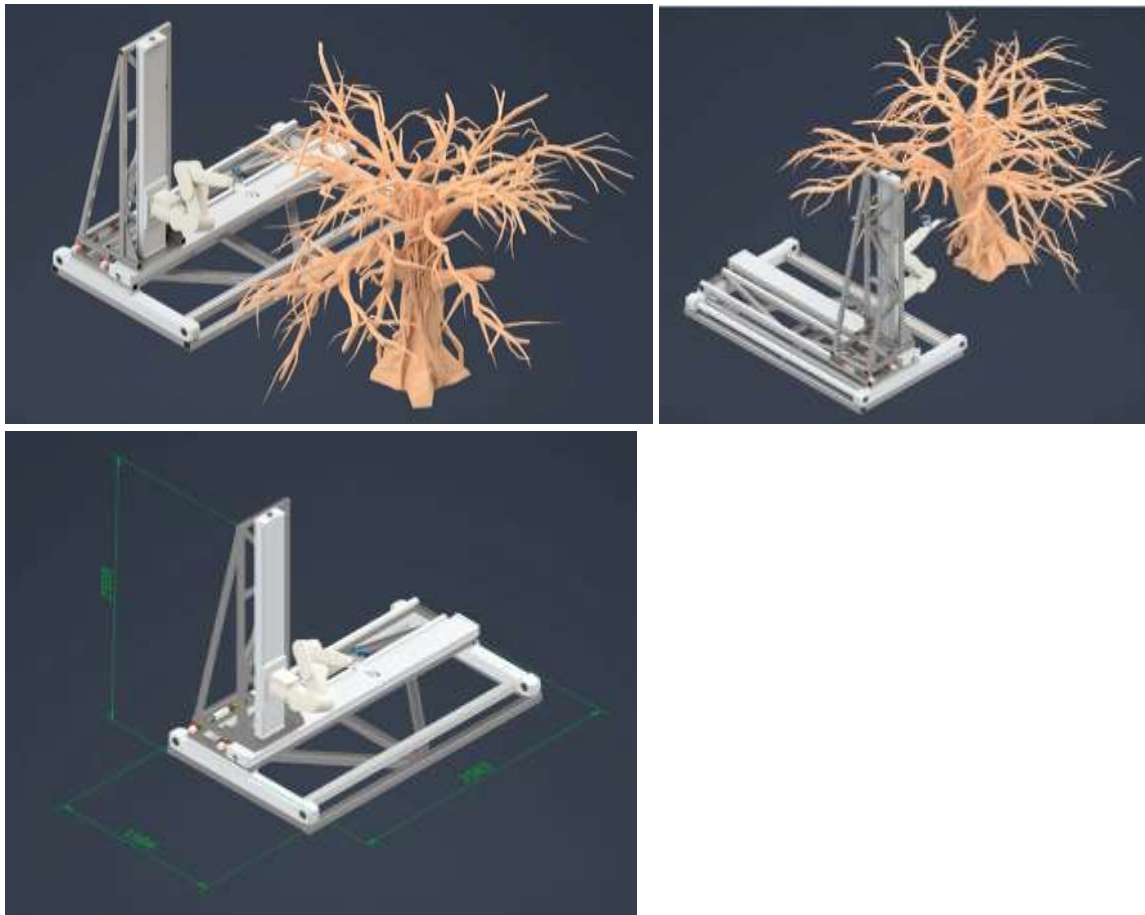
Tika pārveidots rāmja dizains, lai tas spētu izturēt ietekmējošos spēkus un slodzes, lai varētu būt droši par sistēmas ilgtspējību. Kā arī papildinājās ar papild asi, kas nodrošinās robota rokas pietuvināšanu vai attālināšanu no krūma.



Att. 0-19. Variants 3.

Tika apstiprināts, ka izvēlētais rāmja variants ir atbilstošs uzdevumam, bet tomēr rāmja izmērs ir gana paliels un būtu jāmeklē arī cita tehniskā risinājuma alternatīva, kur izmantoto asu skaits būtu mazāks, līdz ar to arī lētāks.

Tākā no visiem risinājumiem nemainīgā daļa būs robota roka, tad tālāk tika veikta informācijas apkopošana par iespējamām vadotnēm, kā arī precizēts Robota rokas modelis uzdevuma veikšanai.



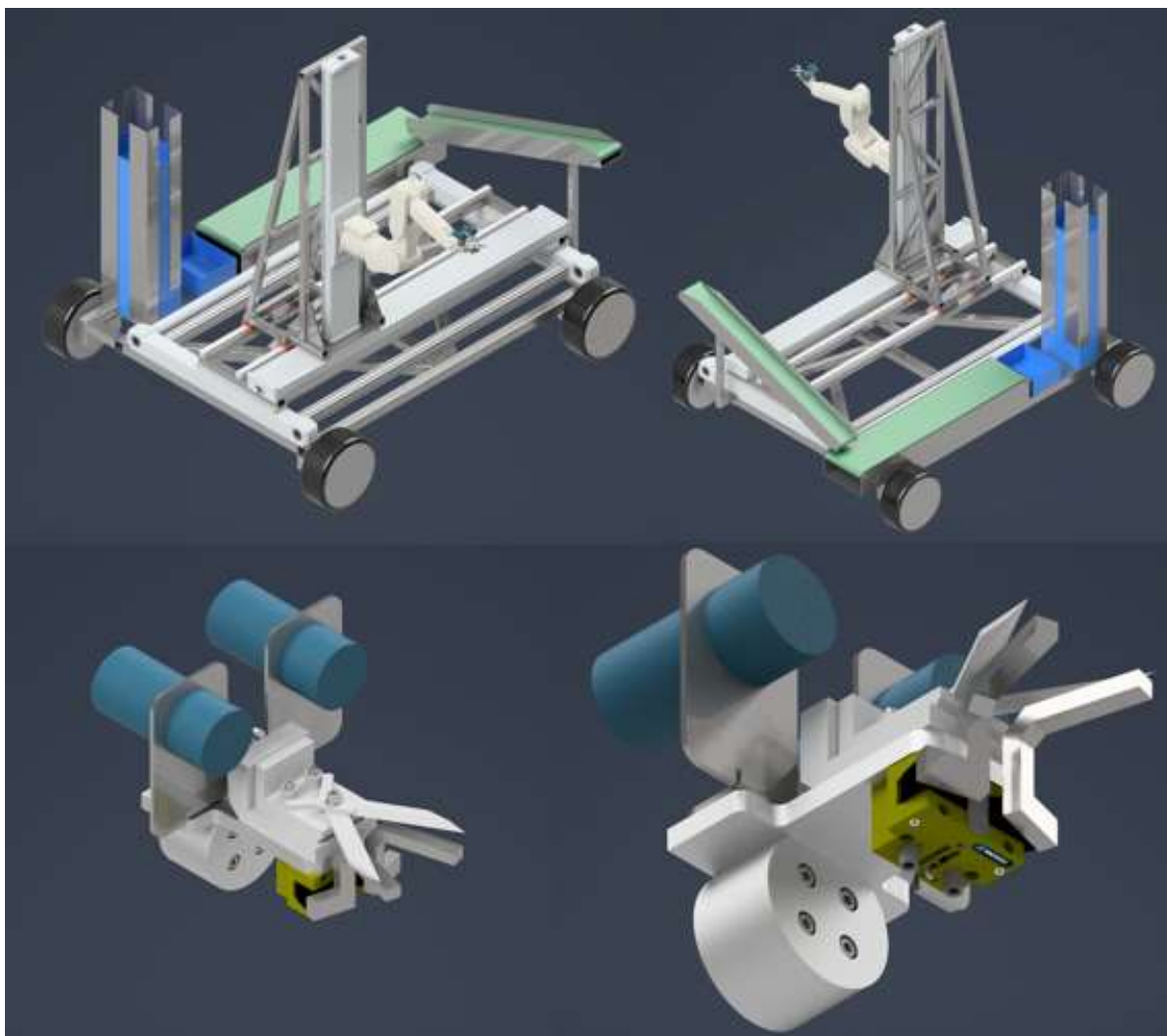
Att. 0-20. Variants 4.

Pēdējā rāmja variantā mēs koncentrējamies uz vienkāršāku un ilgtspējīgāku rāmja uzbūvi, kā arī saīsinājām rāmja garumu, kas ir svarīgi mašīnas lietošanai lauka apstākļos. Secinājumi: Robota roka jeb manipulators kas tika piemeklēts pēc noteiktās atbilstības no ražotāja Hyundai – HH7, un attiecīgi tika uzsākts iepirkuma process.

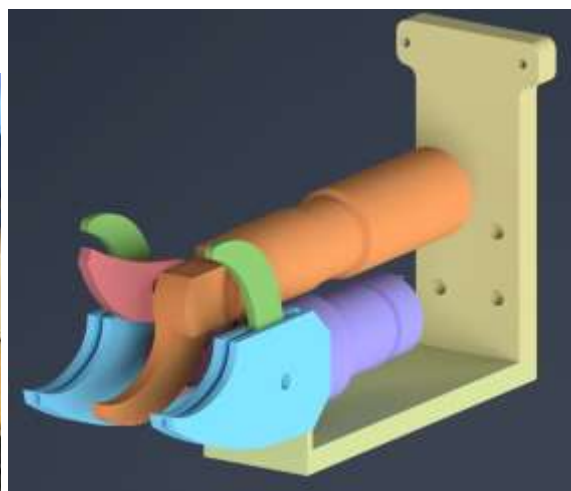
Rāmja dizains un nepieciešamie mehānismi efektīvai ražas novākšanai

Tālāk rāmja dizains tika papildināts ar nepieciešamiem mehānismiem efektīvai ražas novākšanai. Paralēli tika veikta arī:

- robota rīka jeb satvērēja dizaina izveide, tiek veikti papildus izmeklējumi lai nodrošinātu rīka efektivitāti un ilgtspējību.
- sakabes sistēmas projektēšana,
- nogrieztā produkta transportēšanas sistēma līdz kastēm.
- kastes padošanas sistēma.
- piedziņas sistēmas izveidei.
- Aprēķini un risinājuma novērtējums iekārtas rāmja amortizācijai un stabilitātei.



Att. 0-21. Papildinātais tehniskais rasējums ar ražas kastēm un griezējmechānisma prototipiem.



Att. 0-22. Griezējriķa versija 2.



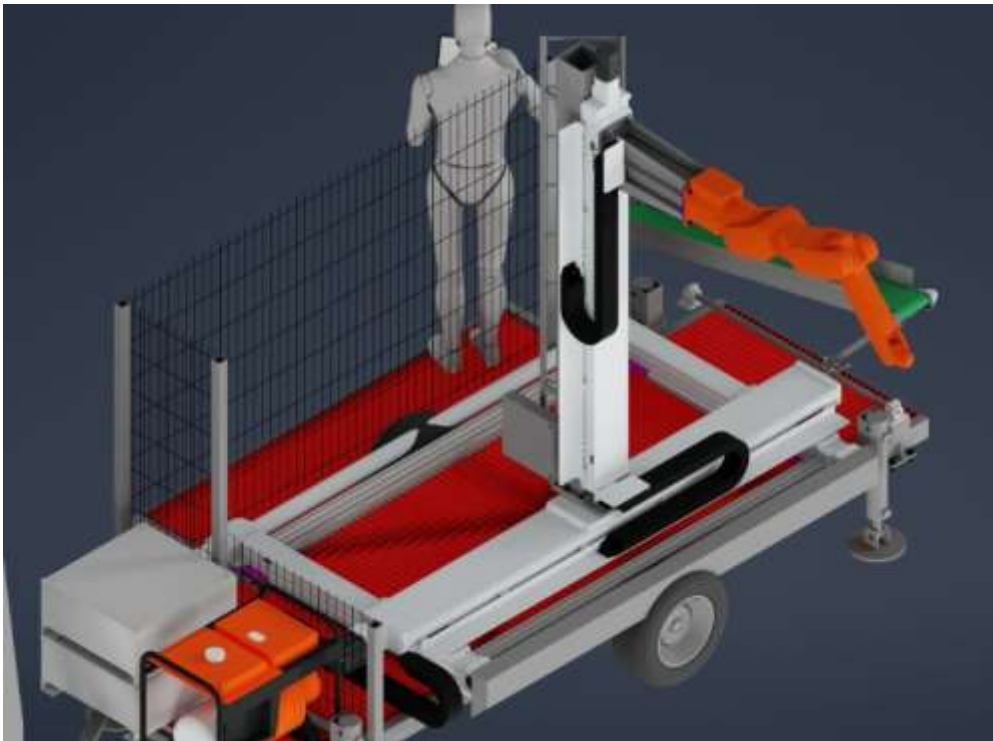
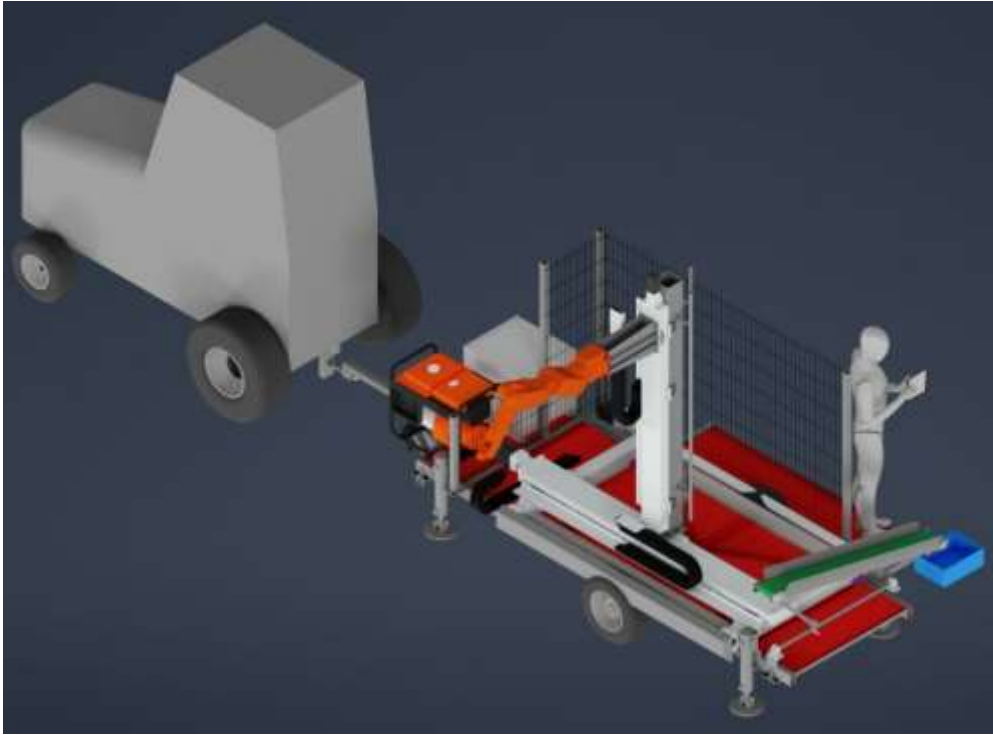
Att. 0-23. Hyundai robota HH7 piegāde un pārbaude LATMAS telpās.

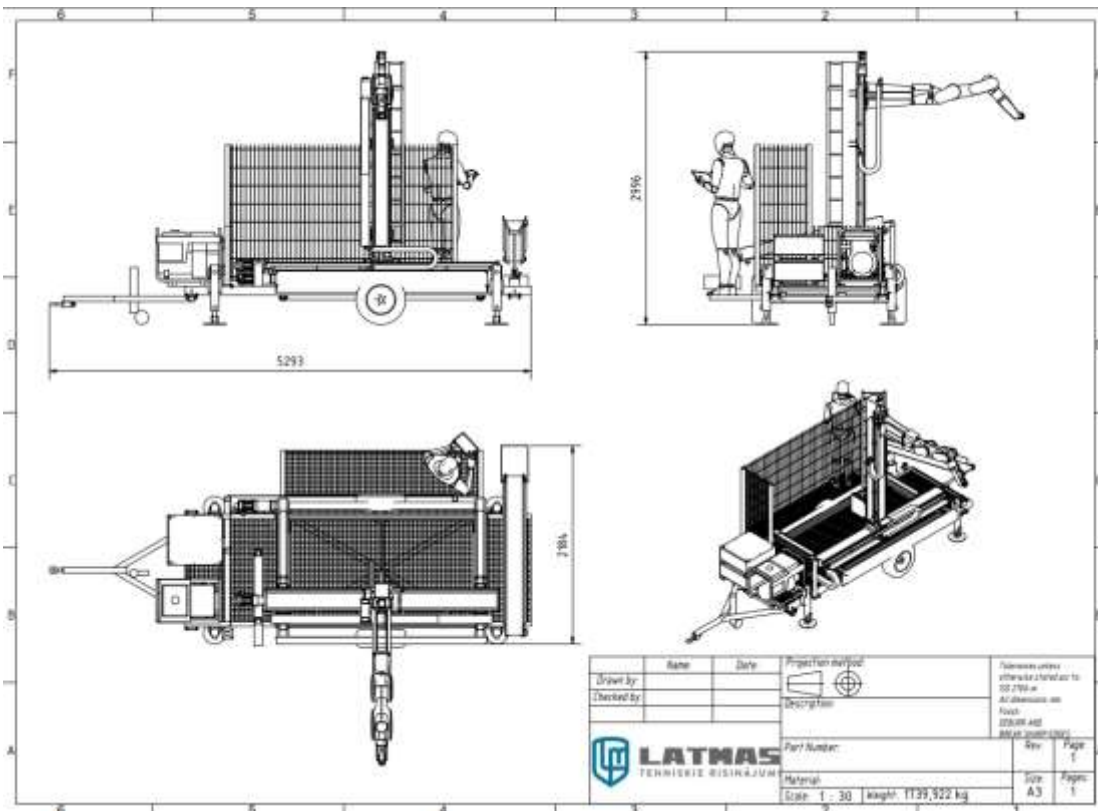
Veicot griezējriķa komponentu iegādi (esošie gatavie risinājumi nebija savietojami ar veidojamo sistēmu), daļa elementu tomēr fiziski nesavietojās, tādēļ tika veikta otra varianta izstrāde un pasūtītas nepieciešamās komponentes.

Agrobots platformas un robota rokas sistēmas izstrādes process

SolidWorks vidē veikta iekārtas projektēšana un tehniskās dokumentācijas sagatavošana iekārtu un komponentu iegādei testiem. Kā platforma tiek izmantot pielāgota piekabes tipa cinkota metāla platforma, kas savienojas ar traktoru vai līdzīgas sakabes kvadriciklu kā galveno vilces piedziņu.

- Veikta apjomīga nepieciešamo iekārtu un mezglu izpēte sadarbībā ar vadošajiem ražotājiem, apzinot vispiemērotākos risinājumus testiem lauka apstākļos.
- Uzprojektēta iekārta testiem.
- Sagatavota tehniskā bāze komponentu iepirkumu veikšanai.
- Uz šīs iekārtas bāzes tiks veidots “Agrobots” pēc 2024. gada vasaras testiem uz lauka, veicot korekcijas konstrukcijā pēc testu rezultātiem.





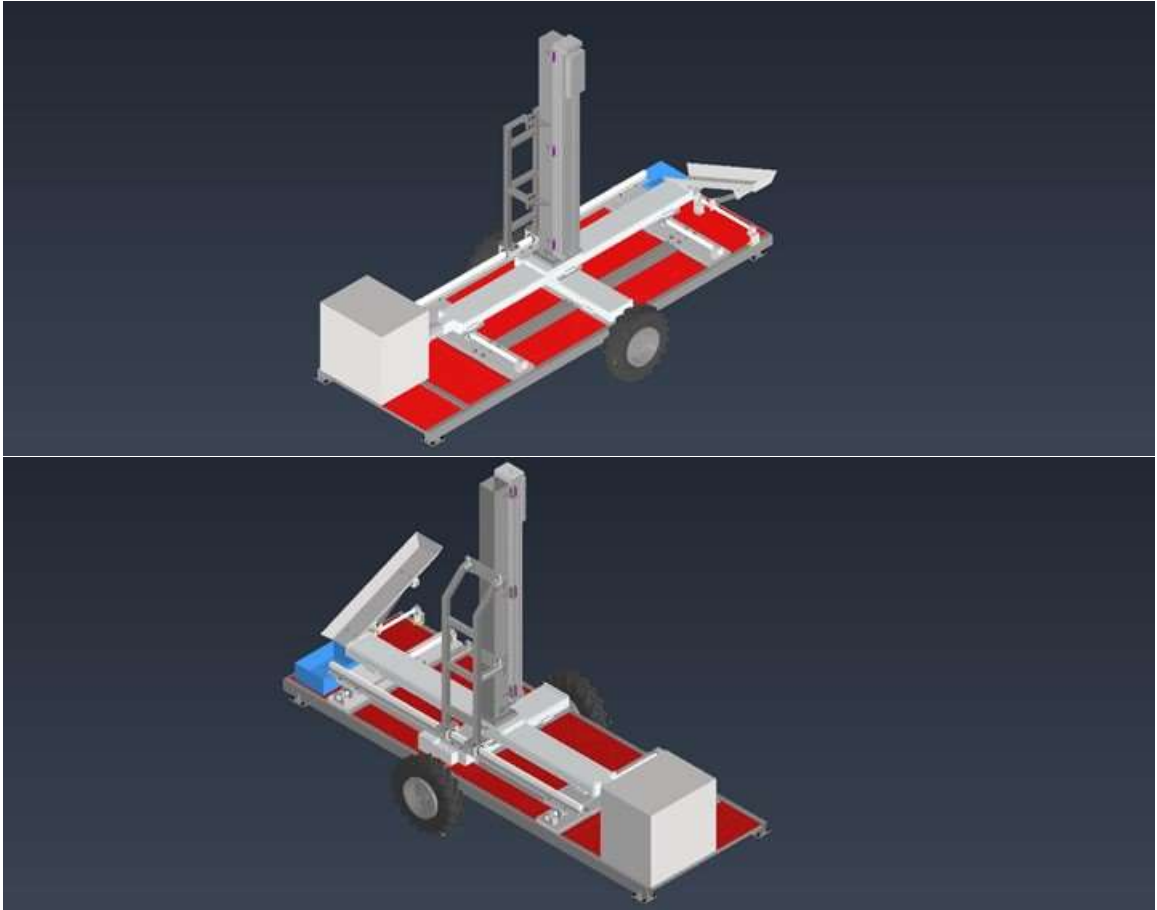
Optimizētā versija

Atbilstoši secinājumiem no pirmajiem testiem, tika veikti optimizācijas uzdevumi, kas iekļauj:

1. Smiltsērķšķu griezēj instrumenta ražošanas rasējumu izstrāde: Izstrādāti detalizēti rasējumi, kas ietver visus nepieciešamos komponentus un to izmērus.
2. Jaunu pievadu izvēle un jauna rāmja projektēšana: Veikta jaunu pievadu izvēle, ņemot vērā efektivitāti un izturību, kā arī izstrādāts jauns rāmis, kas nodrošina stabilitāti un funkcionalitāti.
3. Rāmja ražošanas rasējumu izstrāde: Sagatavoti precīzi rasējumi rāmja ražošanai, iekļaujot visus nepieciešamos tehniskos parametrus.
4. Komponentu sarakstu izveide: Izveidots komponentu saraksts, balstoties uz testu rezultātiem un nepieciešamajiem uzlabojumiem, lai nodrošinātu optimālu darbību.
5. Dokumentu sagatavošana iepirkumu veikšanai: Sagatavoti visi nepieciešamie dokumenti, lai veiktu iepirkumus, nodrošinot atbilstību prasībām un specifikācijām.
6. Griezēj instrumentu materiāla izvēle: Izvēlēts piemērots materiāls griezēj instrumentiem, sadarbojoties ar detaļu ražotājiem, lai nodrošinātu kvalitāti un ilgmūžību.
7. Kombine pilnīga revīzija: Veikta kombine pilnīga revīzija, lai sagatavotos gala varianta izgatavošanai, iekļaujot visu komponentu pārbaudi un nepieciešamos uzlabojumus.
8. Ogu kombine piegāde jaunajās telpās: Nodrošināta ogu kombine piegāde jaunajās telpās, lai uzsāktu tālākos darbus un testēšanu.
9. Testu rezultātu analīze: Veikta testu rezultātu analīze, lai identificētu nepieciešamos uzlabojumus un optimizētu kombine darbību.
10. Projekta dokumentācijas sagatavošana: Sagatavota pilna projekta dokumentācija, iekļaujot visus rasējumus, specifikācijas un testu rezultātus.



Att. 0-24. Griezējmehānisms ar CV kameras integrāciju



Att. 0-25. Uzlabotais rāmis.



Att. 0-26. Agrobots platformas pārvietošana uz testēšanas telpām (Nordspace).



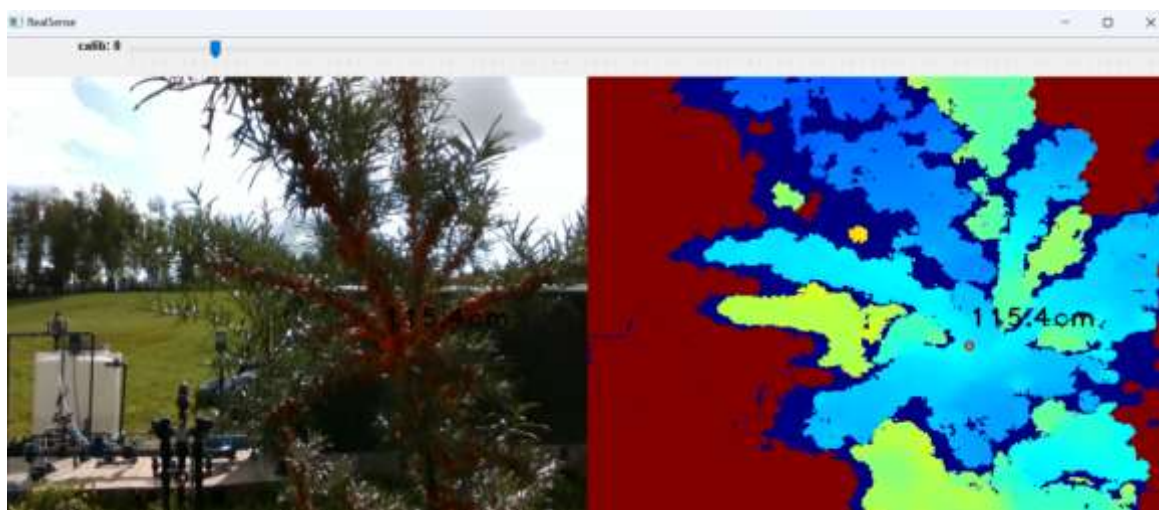
Att. 0-27. Agrobots platformas montāža (Nordspace).

Eksperimentālie testi un mērījumu dati laboratorijā

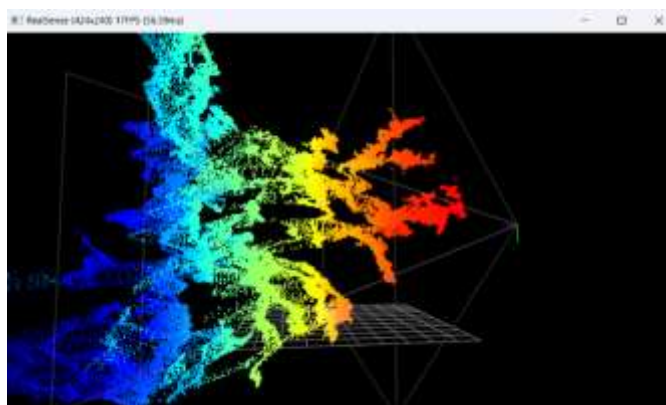
RTU vadības programmas un CV sensora testi

Stereokameras Intel RealSense D435 testi

Tika notestēta stereokamera Intel RealSense D435. Tādu kameru ir plānots izmantot datorredzei. Stereokamera ne tikai uzņem RGB video, bet arī mēra attālumu līdz objektiem, izmantojot stereo efektu. Kamerai tika izveidota programma, kas veido attālumu karti – 2D attēlu, kur katrs pikselis attēlo attālumu līdz objektam. Kamera tika notestēta 22. augustā braucot uz smiltsērķšķu plantāciju Cēsīs. Attālumu karti var redzēt att.3. Kamera labi strādā gan mākoņainā laikā, gan filmējot pret sauli. Arī ar šo kameru var uztaisīt punktu mākonī (Point Cloud), kas attēlo krūma ģeometriju 3D telpā (skatīties att.4).



Att. 0-1. Parastais RGB attēls (pa kreisi) un attālumu karte (pa labi)



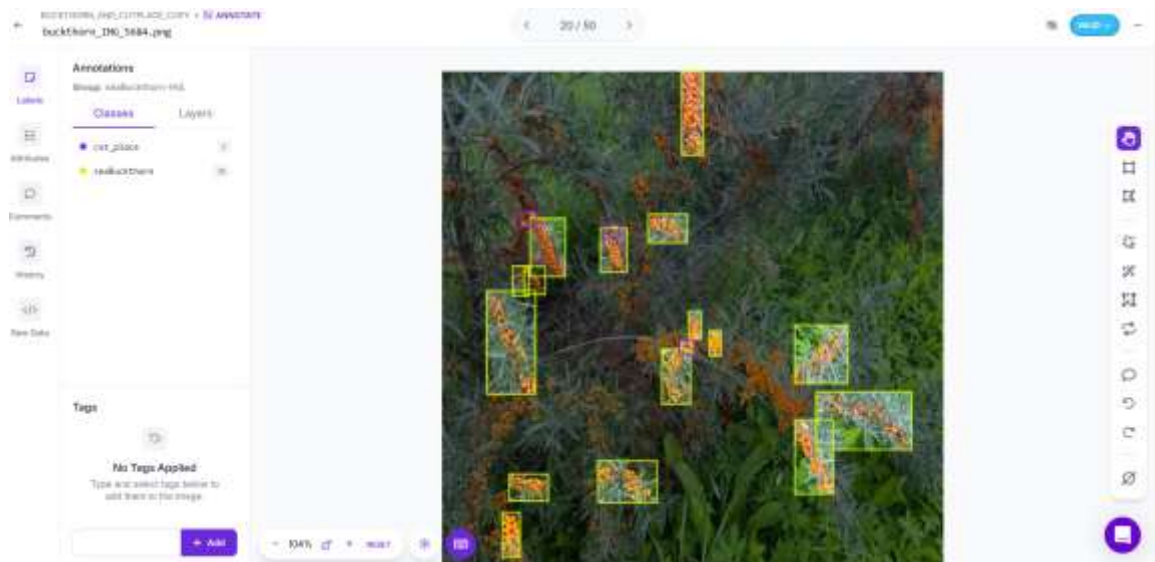
Att. 0-2. Krūma ģeometrijas 3D attēlojums izmantojot punktu mākonī (point cloud)

Datorredzes moduļa algoritma izstrāde, testi un optimizācija

Eksperimentāliem testiem tika veiktas šādas aktivitātes datorredzes moduļa pilnveidošanai:

- Griešanas punkta noteikšanas funkcijas izstrāde
- Zara augšanas virziena noteikšana
- Divvirziena komunikācijas ar robota vadības bloku formāta uzlabošana

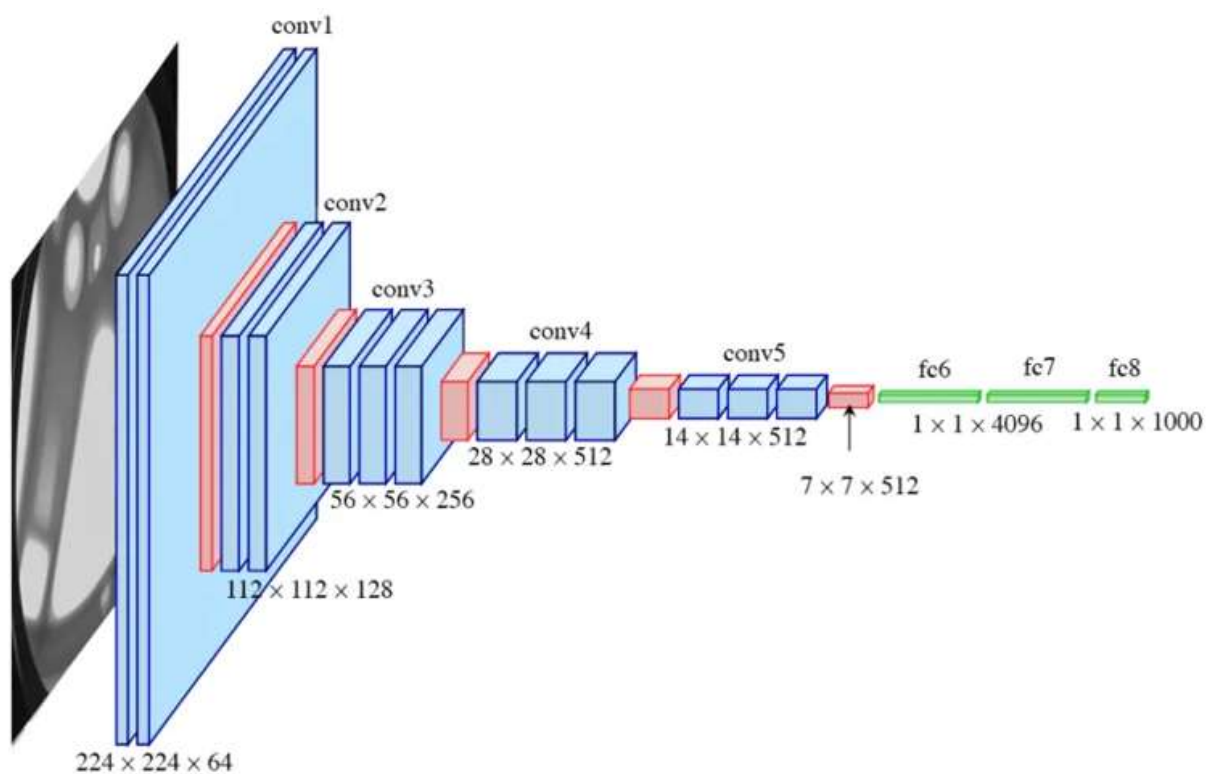
Datorredzes moduļim tika veikta datu verificācija un validācija ar smiltsērķšķķu lauksaimnieku projekta dalībniekiem, kas palielināja apmācības datu un atpazīšanas precizitāti, nosakot griežamos zarus un iespējamās griešanas zonas.



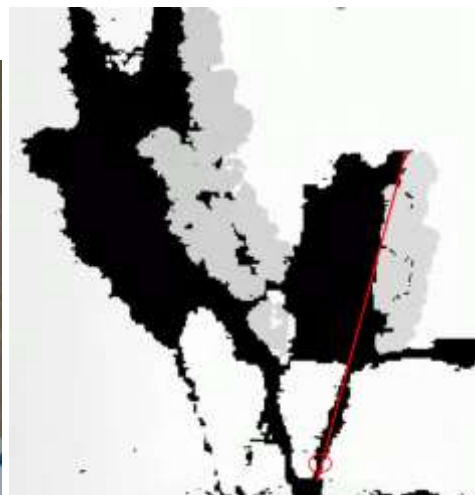
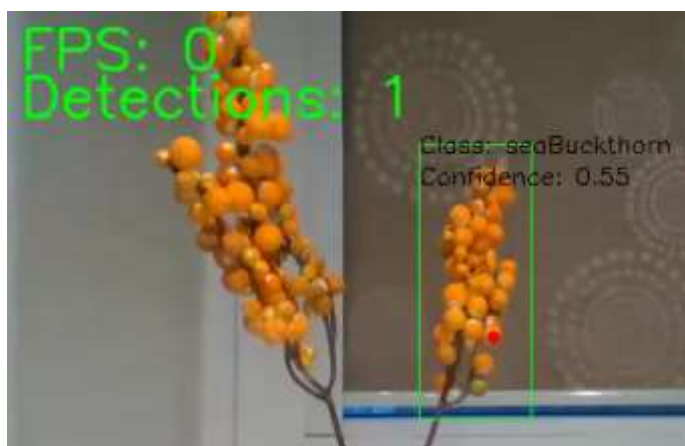
Att. 0-3. Apmācības kopas verificācija un validācijas rezultāts

Sākotnējās testēšanas rezultātu funkcionalitātē tika konstatēts, ka griešanas vietas izvēles metode ir noderīga tikai zara griešanas apgabala noteikšanai, nevis konkrētā griešanas punkta koordinātu aprēķinam, kas ir nepieciešams robot rokas kustības koordinātu noteikšanai. Tādēļ tika veikta jaunas griešanas vietas noteikšanas funkcijas izstrāde pēc inovatīvas īpaši dziļas VGG neironu tīkla struktūras, kuras galvenā īpašība ir ļoti smalkos vairākos konvolūcijas filtros un dažādos secīgi savienotos pilnu savienojumu slāņos.

Atšķirībā no esošām metodēm jauna funkcija strādā ar bīdes dziļuma kartēm, nosakot trīs dimensiju punktu pīderību konkrētam zaram, un tādā veidā izseko visu zaru līdz tā augšanas sākumam un var noteikt zara griešanas vietu. Dotajā brīdī vēl notiek funkcijas atklūdošana. Tas būs noderīgs arī veīdot atgriezenisko saīti momentos, kamēr robota roka ir kustībā uz zara griešanas vietu, tādejādi kustība tiek pītuvināta tuvu tam principam kā cilvēks to redzētu un veiktu.



Att. 0-4. VGG neironu tīkla arhitektūra



Att. 0-5. Zara, tā augšanas virziena un griešanas punkta noteikšanas vizualizācija

Lai nodrošinātu robota manipulatoram nepieciešamus datus, tika pilnveidots datu pārraides formāts, kurā tiek nodoti vairāki parametri: visu noteikto zaru koordinātes, augšanas virzieni un griešanas vietas reģions. Savukārt, robota vadības bloks, izmantojot jaunās inversās kinemātikas simulācijas modeli, izvērtē zara sasniedzamību, un atlasa tikai sasniedzamos zarus, no kuriem datorredzes modulis jau izvēlas vienu zaru un, izmantojot VGG metodi nosaka un kontrolē griešanas punkta atrašanas koordinātes.

Agrobots vadības sistēmas testi

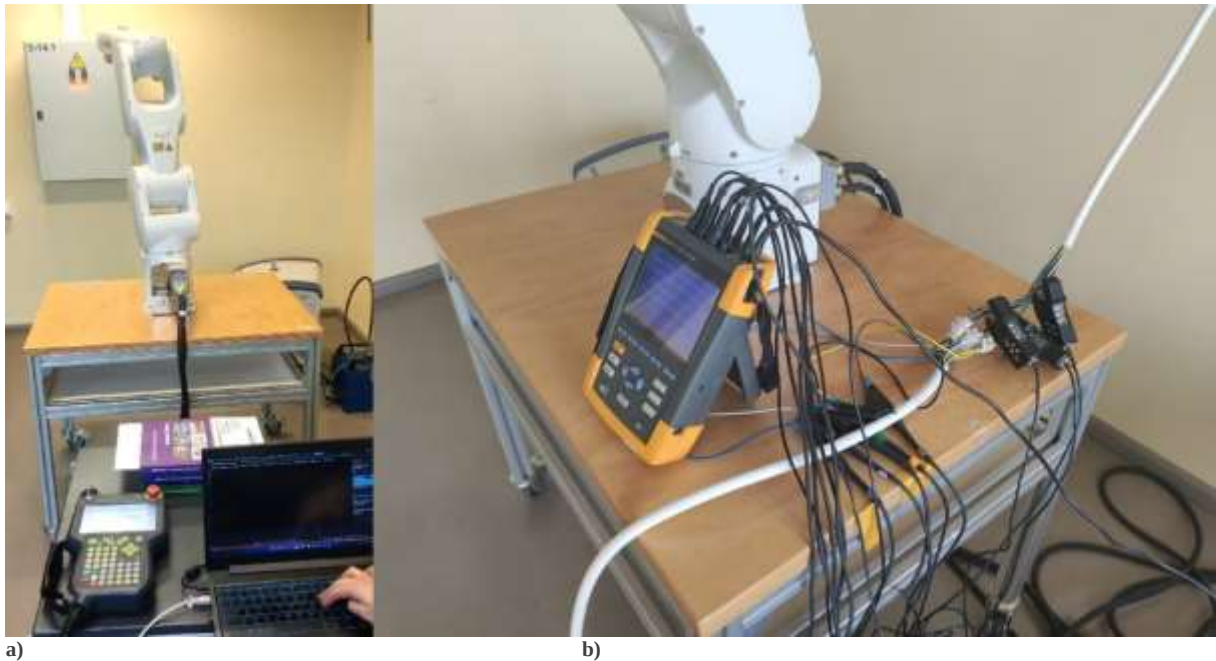
2024.g. janvārī robots tika piegādāts RTU. Laboratorijās telpā tika organizēts testēšanas stends (att. 3-3), kas ļauj testēt robota vadības programmatūru. Pats robots ir pieskrūvēts pie pārvietojamā galda vertikālā pozīcijā. Pat ja uz robota platformas robots būs piestiprināts horizontāli, vertikālā pozīcija atvieglo sākotnējo testēšanu un maz ietekmē testēšanas rezultātus. Kad robota platforma tiks pabeigta, robotu montēs jau horizontālā pozīcijā. Ziemas un pavasara posmā galvenais mērķis ir saprast kā robotu labāk kustināt un kā tas strādās kopā ar datorredzes sistēmu.



Att. 0-6. Hyundai robota testēšanas stends

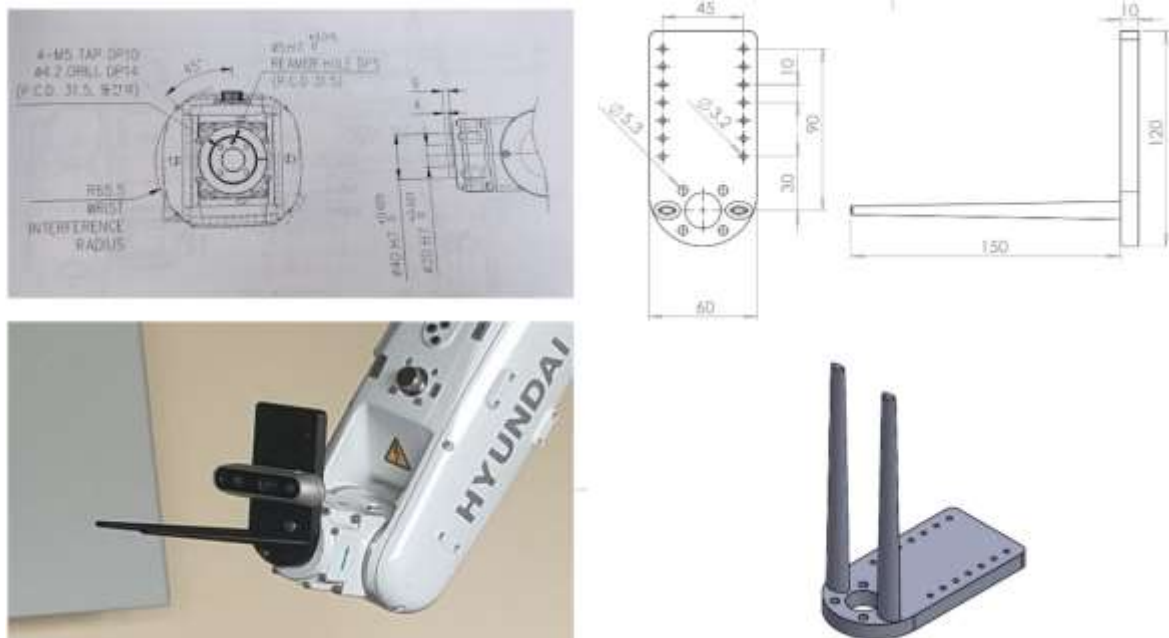
Februārī un martā veikti programmēšanas darbi pie robota vadības sistēmas. Tika pārbaudīts kā robots strādā saņemot komandas no ārējā datora caur UDP protokolu (att. 3-4a). Robots kustās kā bija paredzēts, tomēr daudz darba aizņem vadības sistēmas kļūdu labošana. No ārējā datora puses tika sūtīta robota gala pozīcija Dekarta koordinātēs, un atpakaļ saņemta robota aktuālā pozīcija. No paša robota kontrollera puses savienojumu ar datoru veic OnLTrack funkcija. Sākotnējie vadības sistēmas testi bija veiksmīgi. Martā turpināts programmēšanas darbs pie vadības sistēmas izstrādes.

Lai saprastu faktisko jaudas patēriņu, ar ko būs jārīkojas operējot AgroBot'u smiltsērķšķu laukos, tika veikti jaudas mērījumi robota kontrollerim (att. 3-4b). Tika izveidots speciālais trīsfāžu pagarinātājs, lai varētu pieslēgties katrai fāzei atsevišķi un nomērīt kopējo patērēto jaudu. Jaudas mērītājs bija pieslēgts starp tīklu un Hi5a kontrolleri. Vidējā jauda ir 300W, dažreiz sasniedzot 450W paredzamā robota operēšanas ātrumā. Zināt šo jaudu ir nepieciešams, lai izvēlētos piemērotāku barošanas avotu. Arī jāparedz papildus jauda uz šķērēm un datoru ar sensoriem. Tas ir svarīgi vēlāk izvēloties atbilstošu elektrobarošanu visai sistēmai kopumā, kas būs jādarbina jau lauka apstākļos.



Att. 0-7. a) Hyundai robota vadība no ārējā datora, b) robota jaudas patēriņa mērīšana

Nākamais posms ir pirmie testi kopā ar datorredzes senora sistēmu. Lai to panāktu, tika izveidots pagaidu turētājs kamerai. Turētājs (att. 3-5) ir projektēts pēc robota izmēru shēmām. Turētājs ir 3D printēts, ļauj piestiprināt kameru vairākās pozīcijās, kas ir nepieciešams testēšanas laikā. Divi stieņi reprezentē šķēres un vajadzīgas, lai šķēru pozīcija būtu redzama kameras attēlā.



Att. 0-8. 3D printēts kameras turētājs piestiprināms robota instrumenta vietā.

Nākamais solis bija veikt robota vadības sistēmas izstrādi un atklādošanu, veicot testi ar datorredzes moduļa vienkāršotu versiju. Šī versija atpazīst sarkano marķieri, aprēķina tā koordinātes 3D telpā un sūta šo pozīciju uz robota vadības moduli. Savukārt robota vadības

modulis nodrošina robota kustību uz norādīto pozīciju, tuvojoties marķierim. Aprīlī un maijā tika notestēta un atklūdota programma mārķera sekošanai bez robota orientācijas vadības.

Maijā un jūnijā tika izstrādāta programmas daļa, lai varētu rotēt robota šķēres. Tas nepieciešams, lai pareizi orientētu šķēres pret zaru griešanas laikā. Robota kontrolleris izmanto Eilera leņķus, lai uzdotu pozīciju 3D telpā, tomēr tādai leņķu reprezentācijai ir būtisks trūkums – singularitātes, kas padara neiespējamu korektu lineāro interpolāciju starp orientācijām. Lai novērstu šo problēmu, tika izmantoti “kvaternioni”, kuriem ir iespējama lineārā interpolācija. Jūnija beigās tika pabeigti testi robota orientācijas vadīšanai.



Att. 0-9. Robota pozicionēšanas testēšana izmantojot sarkano marķieri.



Att. 0-10. Robota pozicionēšanas un rotācijas testēšana

Jūnijā tika izstrādāta komunikācija starp robota kontrolleri un vadības moduli, kas nodrošina perifērijas vadību. Programma tagad spēj inicializēt griešanas procedūru, padot signālus

šķēru/satvērēja atvēršanai un aizvēršanai un novietot robotu pie konveijera, lai noliktu nogrieztu zaru.

Paralēli robota vadības moduļa izstrādei, tiek risināta kameras pieslēgšanas problēma. Tā kā Intel Realsense D435i kamerai ir liela datu plūsma caur USB kabeļi, tad kabeļa pagarināšana rada trokšņus signālā un traucē kamerai stabili darboties. Tā kā kamera atrodas robota galā, ir vajadzīgs minimum 3m garš USB kabelis, kas ies caur manipulatora iekšu. Tika notestēts paštaisīts adapteris, kas izmanto robota esošus interfeisus, bet tas nestrādāja. Tika pamēģināti daži gatavi 3m USB kabeļi, kurus internetā ieteica Realsense kameru lietotāji, kas saskarās ar līdzīgu problēmu. No trim kabeļiem viens strādāja, bet tai brīdī bija neskaidrība, vai tas strādās, kad kabelis ies caur manipulatora iekšu, papildus trokšņu dēļ.



Att. 0-11. USB kabelis ar paštaisītu konektoru izmanto vadu kas jau ir manipulatorā.

Kamēr nav pārliecinātības USB vadā, tiek testēts pieslēgšanas variants ar Ethernet vadu, izmantojot mikrodatoru Raspberry Pi 4B. Ethernet vads ir vairāk izturīgs pret trokšņiem, bet datu pārraides ātrums ir mazāks. Kā arī programmatūra, kas atļautu pieslēgt kameru caur Ethernet, netiek atbalstīta no kameras ražotāja puses.



Att. 0-12. USB kabelis, kas strādā ar Inter Realsense D435i kameru, 3 metri.

Tālāk tika veikta robota programmas datorredzes moduļu pilnveidošana, laboratorijas testi un to gatavošana eksperimentu veikšanai laukā. Robota datorredzes modulim arī tika izstrādātas programmatūras funkcijas mijiedarbībai ar robota vadības moduli.



Att. 0-13. Att.5. Robota testēšanas laboratorijā un gatavošanas lauka eksperimentiem

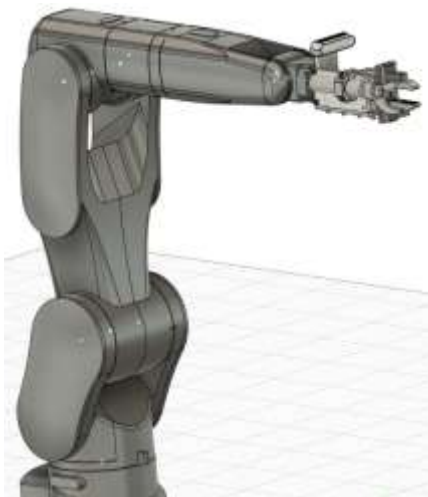
Robota vadības sistēmas un datorredzes moduļa izstrādes un testēšanas progress laboratorijā.

Robota vadības sistēmas attīstība turpinās ar to iteratīvo optimizēšanu. Laiks tika veltīts kopējai optimizācijai:

1. Robota vadības sistēmas un datorredzes moduļa mijiedarbība tika uzlabota un pārtaisīta, lai nodrošinātu labāku sistēmas ātrdarbību un optimālāku “pienākumu” sadalījumu;
2. Robota vadības sistēmas komunikācijas daļa tika pārstrādāta, optimizējot TCP protokola izmantošanu, paātrinot komunikāciju un atslogojot centrālo procesoru;
3. Robota vadības sistēmas kods tika pakļauts refaktoringam, lai uzlabotu lasāmību, koda lietošanas ērtību un sagatavoties nākamajiem koda funkcionālajiem papildinājumiem;

Papildus optimizācijai uzlabojot robota vadības sistēmas programmu tika ieviesti jauni kļūdu ķeršanas mehānismi.

Paralēli kopā ar Latmas partneru ir saskaņota pirmās iterācijas šķēru konstrukcija. Attēlā 1. Ir attēlotas izveidotās šķēres, kuras ir pievienotas projektā izmantojamam robotam.



Att. 0-14. Att. 1. Robots ar šķērēm un kameru – prototips.

Pēc saņemtā rasējuma un modeļa šķēru prototips tika saražots ar 3D printera palīdzību, tika salikts kopā un piestiprināts robotam (attēls 3-12.)



Att. 0-15.. Robots ar šķēru prototipu.

Robota vadības sistēmas un datorredzes moduļi tika notestēti kopā ar šķēru prototipu un tika izvirzītas prasības jaunajam prototipam, kurš ietvers labāku redzamības leņķi, optimālāku zara satveršanu.

Robota vadības sistēmas optimizācija

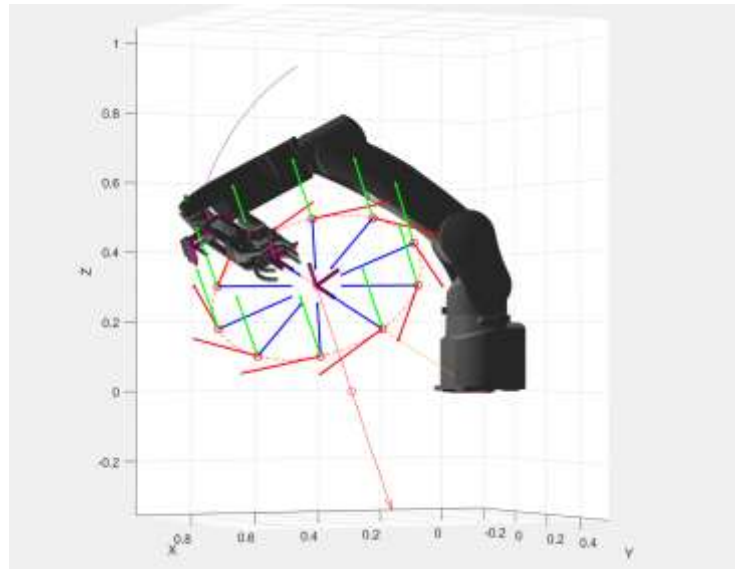
Robota vadības sistēma tika optimizēta, ieviešot uzlabotu algoritmu Hyundai robota vadībai:

1. Robota inversās kinemātikas kalkūlācijas tagad tiek veiktas izmantojot Matlab bibliotēkas, kas tika eksportētas C++ kodā un integrētas esošā programmatūrā. Jauns kods strādā atrāk un prot efektīvāk plānot robota kustības trajektoriju no starta pozīcijas līdz griežamajam zaram.
2. Izveidots Hyundai robota virtuālais modelis, kas ļauj pārbaudīt inversās kinemātikas darbību un vizualizēt to. Šajā modelī tika izveidots un integrēts robota pašsadursmes pārbaudes rīks, kas visu laiku seko robota darbībai un paziņo, kad robotam ir pašsadursmes risks. Tas ļauj izmantot robotam plašāku darba telpu būšot pārliecinātiem, ka robots neradīs bojājumus pats sev un apkārtējam aprīkojumam.



Hyundai robota kolīzijas modelis pašsadursmes pārbaudei

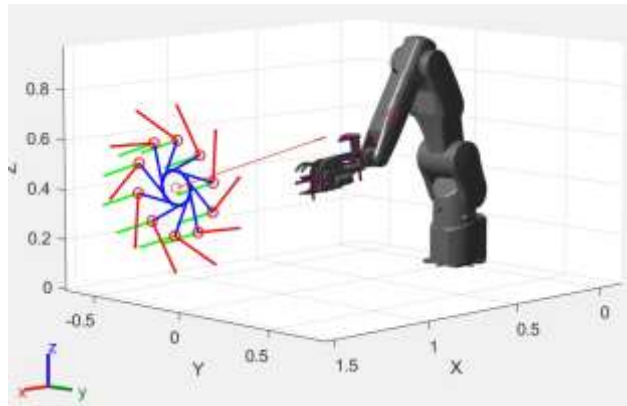
3. Arī izmantojot Matlab vidi tika veiktas simulācijas virtuālajam robota modelim. Simulācijā tika definēts zara griešanas vieta un augšanas virziens. Izstrādāta programmatūra izrēķina apli apkārt zaram perpendikulāru zara virzienam, izvēlas robotam tuvāko punktu līdz kuram tas var nonākt, un, izmantojot interpolāciju, izrēķina trajektoriju robota kustībai tādā veidā, lai zars visu laiku atrastos kameras redzes lokā. Kad robots nonācis līdz pozīcijai uz apļa, tad tas sāk griešanas procedūru, kur lineāri tuvojas zaram un nogriež to. Pēc tam robots ar nogriezto zaru atgriežas uz sākumpozīciju un novieto zaru kastē.



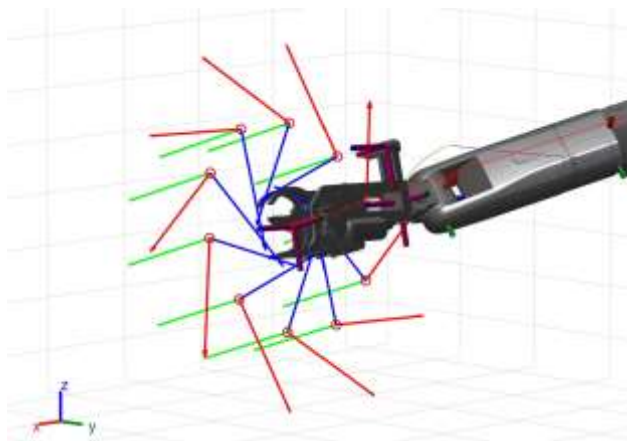
Hyundai robota darbības simulēšana Matlab vidē

Veiktie uzlabojumi robota vadības modulim, optimizācijas pasākumi:

1. Hyundai robota kinemātikas algoritmu uzlabošana un kalibrēšana, lai robots varētu piekļūt pie lielāka mērķu skaita.
2. Vidējā laika mērķa sasniegšanai samazināšana
3. Uzlabojumi šķēru pozicionēšanā, būtiski palielinot robota darba telpu, kā arī mērķu redzamībā. Šķēres tiek pagrieztas uz noteikto leņķi, lai CVM modulis varētu atkārtoti precizēt mērķa koordinātes.
4. Komunikācijas daļas uzlabojumi ātrdarbībai, pārskatāmībai – JSON struktūras, loģika, datu izvadīšana datora konsolē reālā laikā (robota darbības atklūdošanai un sekošanai tekošam operācijas statusam)
5. Izstrādāti mehānismi automātiskai kļūdu apstrādei vai “fallback” uzvedībai, ja mērķis nav sasniedzams



Att. 0-16. Robots pirms mērķa sasniegšanas.



Att. 0-17. Robots sasniedzis mērķi.

Izstrādāto algoritmu testēšana, atklādošana:

1. Uzlabotie robota vadības un komunikācijas algoritmi notestēti darbā ar smiltsērķšķu modeli.
2. Robots veiksmīgi sasniedz mērķus un komunikācija starp RCM un CVM strādā uzticami.

Datorredzes modulis (Computer Vision module – CVM)

Pēc vairākkārtējiem dažādu metožu mēģinājumiem un eksperimentiem precīzi noteikt zara augšanas virzienu griešanas vietu, tika izstrādāts un veiksmīgi notestēts kombinētais datorredzes algoritms, kurš balstās uz neironu tīkla atpazīta zara, tā dziļuma kartēm un matemātiskās analīzes aproksimācijas metodēm. Algoritms sekmīgi nodemonstrēja spēju noteikt gan sarežģīto formu zaram ar ogām, gan augšanas virzienu gan zara sākuma un nobeiguma punktus 3-dimensiju telpā. Izstrādātā metode ir unikāla un ļauj samazināt skaitļošanas resursus un palielināt precizitāti salīdzinot ar parasto dziļo neironu tīklu.



(a)



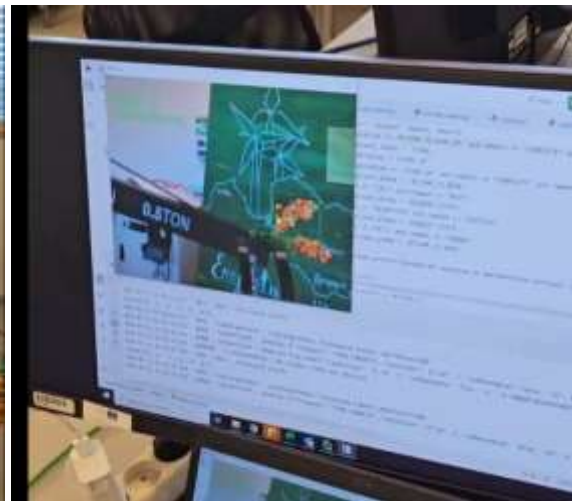
(b)

Att. 0-18. Att. Formas un virziena atpazīšana (a) un gala un griešanas punktu noteikšana (b)

Algoritms tika integrēts robotu vadības secībā, tika veikta datorredzes CVM darbības algoritmu secības salāgošana ar robota vadības moduli. Līdz ar to tika pabeigta datorredzes moduļa koordinācijas loma robota darbības procesā un notestēta galvenā darbību secība un tas atsevišķi algoritmi.

Normālā darbības secība ir šāda:

1. Robots analizē krūmu, veic zaru atpazīšanu un pārbauda atpazīto zaru sasniedzamību



2. Robots izvēlās piemērotāku sasniedzamo un griezamo zaru un tuvojās zara griešanas punkta koordinātes, pagriežoties griešanas pozīcijā perpendikulāri augšanas virzienam



3. Robots atkārtoti izvērtē un precizē griešanas punkta koordinātes
4. Robots tuvojās zaram un griež to



5. Ar nogriezto zaru robots atgriežas bāzes pozīcijā, pēc tam liec zaru kastē un atkārtoti nostājas bāzes pozīcijā, meklējot citu zaru.



6. Ja zari nav atrodami vai nav sasniedzami, robots maina bāzes pozīciju.
7. Ja visas bāzes pozīcijas ir pārbaudītas, robots grupējās drošā pārvietošanas formā un gatavs apstrādāt nākamo krūmu.

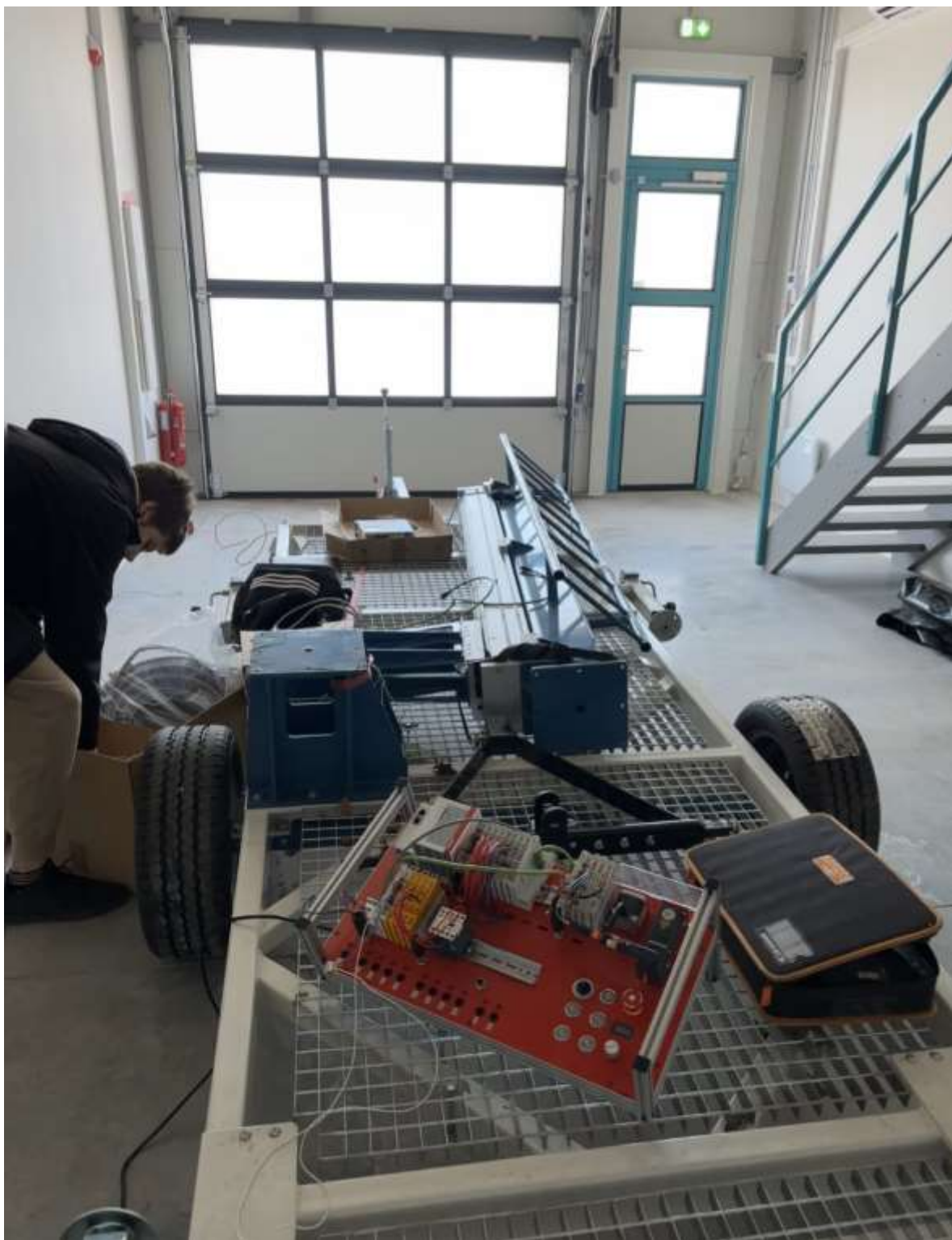
Nākamos testus plānots pārbaudīt jau ar krūma lieluma zaru un mākslīgajām ogām, pēcāk veikt testus arī lauka apstākļos.

Agrobots mehānismu izstrādes gaita un testa rezultāts

Mehānismu izstrādes progress

Latmas komandas veiktie darbi - Agrobots platformas, griezēj mehānisma un rasējumu izveide, t.sk. instrumentu sistēmas izstrādes process šajā pārskata periodā (03.-06.2025.)

- 1. Platformas rāmja pārmetināšana un jaunu stiprinājumu pievienošana** Veikta Agrobots platformas rāmja konstrukcijas pārmetināšana, lai to pielāgotu papildu kustīgajām asīm. Tajā integrēti jauni stiprinājumi, kas nodrošina palielinātu strukturālo noturību un uzlabotu savienojumu saderību ar instrumentu sistēmām. Tika ņemta vērā mehāniskā slodze un mobilitātes prasības lauka apstākļos.
- 2. Tirgus izpēte atbilstoši rasējumiem un komponentu pieejamībai** Balstoties uz iepriekš izstrādātajiem tehniskajiem rasējumiem, veikta tirgus izpēte, kas atklāja ierobežotu piekļuvi vairākiem sākotnēji plānotajiem komponentiem. Lai nodrošinātu projekta izpildāmību, identificētas alternatīvas detaļas un atbilstoši pielāgots komponentu saraksts, saglabājot funkcionalitāti un savietojamību.
- 3. Rasējumu revīzija un tehniska pielāgošana** Veikta detalizēta rasējumu revīzija, kurā atspoguļotas izmaiņas, kas saistītas ar pieejamo komponentu specifikācijām. Rasējumi pārstrādāti, lai precīzi atbilstu iegādājamajām detaļām, optimizējot montāžas procesu un samazinot nepieciešamību pēc papildu konstrukcijas korekcijām.
- 4. Kontrolieru testēšana un ražotāju salīdzinājums** Veikta dažādu kontrolieru testēšana no vairākiem ražotājiem. Salīdzināta ierīču savietojamība ar platformas vadības sistēmu, signāla kvalitāte, stabilitāte un reakcijas laiks. Rezultāti ļāva atlasīt piemērotākos kandidātus turpmākai elektronikas integrācijai.



Att. 0-19. Uzlabotās versijas risinājuma montāža un testēšanas process.

Agrobots iekārtas montāža un sagatavošana otrajam testam. (07-09.2025)

Tika iepirktas un piegādātas nepieciešamās komponentes: lineārie vadotņi, servopiedziņas, sensori, vadības bloki, elektroinstalācijas materiāli, rezerves riteņi darbam dubļainos apstākļos

un piemērots ģenerators autonomai barošanai. Pēc piegādes veikta to pārbaude un salīdzināšana ar pasūtījuma specifikācijām, lai nodrošinātu atbilstību tehniskajām prasībām.

Montāžas posmā uzstādītas trīs neatkarīgas kustību ass sistēmas. Katras ass montāža ietvēra lineāro vadotņu nostiprināšanu, servopiedziņu uzstādīšanu un pozicionēšanas sensoru kalibrēšanu. Darbs veikts ar mikrometru precizitāti, izmantojot specializētus mērinstrumentus un nostiprināšanas šablonus. Papildus tam robotam tika samontētas industriālās šķēres, nodrošinot precīzu griešanas mehānismu integrāciju ar kustību sistēmu.

Vadības sistēmas integrācijā uzstādīts kontrolieris un vadības skapis ar visām nepieciešamajām elektrokomponentēm. Veikta kontroliera konfigurēšana, iekļaujot PLC programmēšanu un komunikācijas protokolu iestatīšanu. Vadības sistēma savienota ar mehāniskajiem komponentiem un sensoriem. Paralēli veikta vadības un barošanas vadu montāža, ievērojot rūpnieciskos drošības un elektromagnētiskās saderības standartus.

Pēc montāžas veikta komponentu salāgošana, pārbaudot signālu plūsmu starp sensoriem, piedziņām un kontrolieri. Kalibrēti kustību parametri un sinhronizētas ass darbības. Veikta daudzpakāpju testēšana, kurā pārbaudīta gan atsevišķu komponentu funkcionalitāte, gan sistēmas kopējā darbība. Testēšanā piesaistīti komponentu ražotāju speciālisti, lai nodrošinātu pareizu konfigurāciju un atbalstu sarežģītu kļūdu novēršanā.

Veikta kvalitātes kontrole, sistēmas pārbaude.





Att. 0-20. Uzlabotās versijas risinājuma 3 asu montāža un testēšanas process.

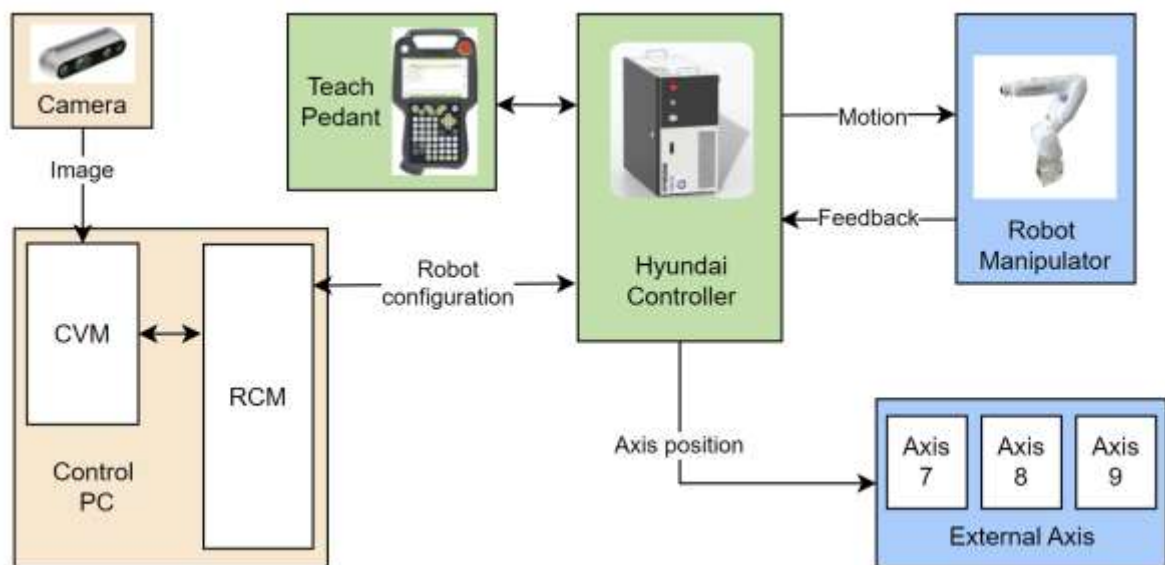
Agrobots tehniskie rasējumi un programmas kods asīm dots arhīva datnē “Pielikums Nr.3. Agrobots teh. rasejumi_programma asīm 09.2025”

Agrobots testi un vadības programmas optimizācija un gala risinājums

Robota Vadība

Agrobota vadība tiek sadalīta trīs galvenās daļās, kas savstarpēji hierarhiski mijiedarbojas. Trīs programmatūras moduļi, katrs atbild par savu darbu (skatīties att. 3-21):

- Datorredzes modulis (CVM - Computer Vision Module)
- Robota Vadības modulis (RCM - Robot Control Module)
- Hyundai kontrolleris (HC - Hyundai Controller)



Att. 0-21. Agrobota kopējā vadības shēma

Hierarhiski galvenais ir **Datorredzes modulis (CVM)**, kas pieņem augstā līmeņa lēmumus robota darbībā. Tas nozīmē, ka CVM izlemj kurus zarus griezt, kādā secībā un kādas vispār darbības jāizpilda robotam (pienākt pie zara, griezt, iet uz mājas pozīciju, mainīt skenēšanas pozīciju utt.), neņemot vērā kā tieši robots tās darbības izpildīs.

Par to atbild **Robota Vadības modulis (RCM)**, kas saņem komandas no CVM un pieņem lēmumus par to kā šīs komandas izpildīt. RCM veic sekojošas funkcijas:

- Darbojas kā serveris datu pārraidei ar CVM un HC, nodrošina nepārtrauktu datu plūsmu izmantojot TCP/IP un UDP protokolus.
- Saņem komandas no CVM un izpilda tās vadot pa tiešo HC
- Griežamā zara pozīcijas analīze (vai robots spēj pie tā tikt)
- Robota galamērķu, ceļa un trajektorijas plānošana, izmantojot digitālo modeli
- Robota inversās kinemātikas aprēķini (lai atrastu kā salocīt robotu lai nonāktu konkrētā gala pozīcijā)
- Robota dinamisku parametru aprēķini (lai panāktu drošas plūstošas robota kustības)
- Robota limitu aprēķini (lai robots neietriektu apkārtējā aprīkojumā)
- Robota paškolīzijas aprēķini (lai robots neietriektu pats sevī)
- CVM komandu sadalīšana zemā līmeņa komandās, vadot HC

Trešais vadības modulis ir **Hyundai Kontrolleris (HC)** - tas izpilda zēmāka līmeņa komandas no RCM un izpilda robota kustības. HC veic sekojošas funkcijas:

- Saņem komandas no RCM un izpilda tās
- Kustina pašu robotu, vadot robota piedziņu, padodot signālus uz šķērēm un ārējām asīm
- Vada šķēres un satverēju
- Seko robota drošībai, apstādinot robotu, ja robots mēģina izpildīt kustības ārpus saviem kinemātiskiem vai dinamiskiem limitiem

Šāda vadības sistēmas struktūra nodrošina ātrāku un efektīvāku Agrobota funkcionalitātes izstrādi. Katrs modulis atbild par savu uzdevumu kopu, abstrahējot CVM programmu no RCM programmas un no HC programmas. Katram modulim piemīt sava specifika, kas nosaka konkrētas pieejas, programmēšanas valodas, un algoritmu izvēli tā izstrādei.

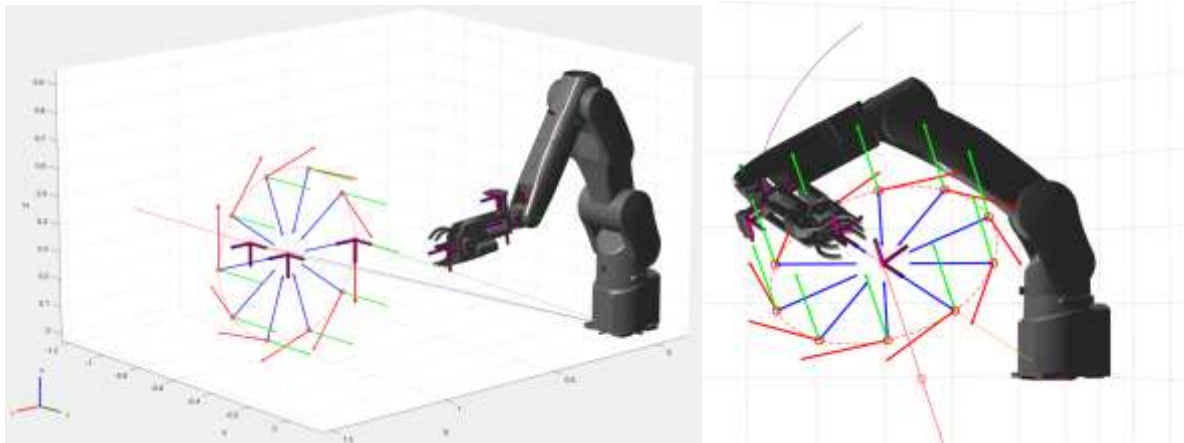
RCM struktūra

RCM pilda starpprogrammas funkciju (middleware) - saista CVM un HC, lai CVM nementdzētu zemā līmeņa darbības, kas nepieciešamas Hyundai robota vadībai. CVM var fokusēties uz datorredzes izaicinājumiem, kamēr RCM - uz robota vadības izaicinājumiem.

Lai robots kustētos, uz HC katras 5ms jāsaņem komanda pa cik mm robotam jākustas X,Y,Z virzienā. Tas nozīmē, ka programmai jāpaspēj izpildīt vairākus matemātiski sarežģītus aprēķinus <5ms laikā. Lai labāk kontrolētu izpildes laiku, tika izvēlēta kompilējama programmas valoda C++, nevis interpretējama Python, uz kurās uzrakstīts CVM.

Robota kustības plānošana

Lai robotam nonāktu līdz griešanas pozīcijas, vispirms nepieciešams definēt kādā konfigurācijā (kā robota asis ir pagrieztas) robotam jābūt griežot zaru. Lai to izdarītu tika izveidots robota 3D modelis Matlab vidē (skat. att. 3-22). Modelis ar visām uzrakstītām Matlab valodā funkcijām tika pārkompilēts C++ valodā un integrēts RCM programmas kodā.

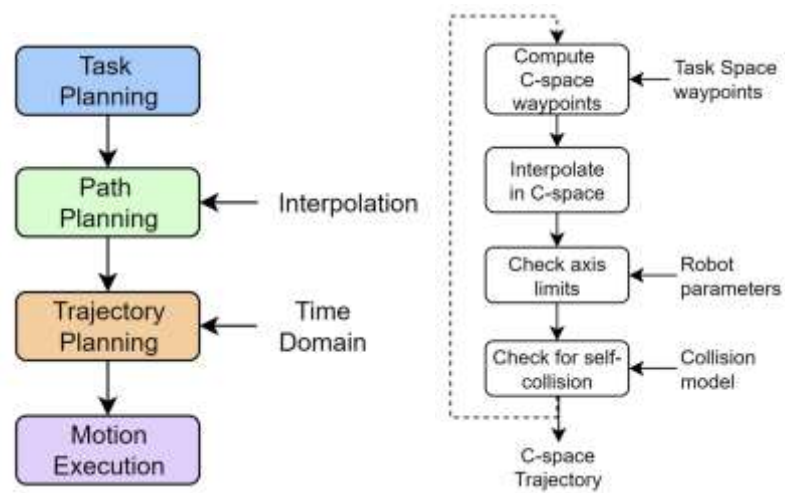


Att. 0-22. Hyundai robota modelis Matlab vidē, robota kustības simulācija un vizualizācija

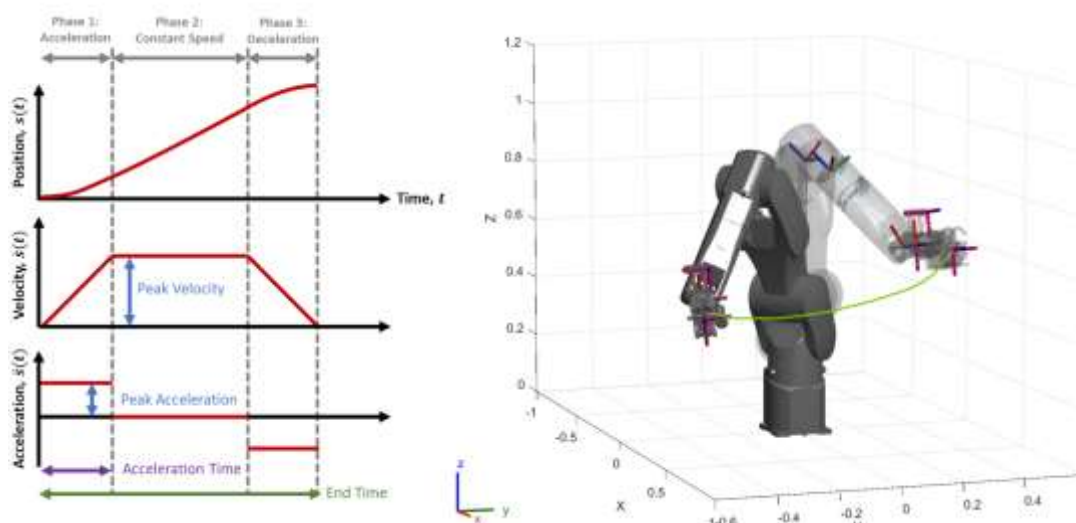
Lai nogrieztu zaru, robotam jāpienāk pie zara sākumpunkta perpendikulāri, arī ņemot vērā zara augšanas virzienu, lai pareizi pozicionētu satvērēju. Algoritms ir sekojošs (sk. att. 3-23):

1. Saņemot no CVM zara sākuma pozīciju un virzienu, tiek aprēķināts zara vektors robota atskaides sistēmā
2. Ap vektora sākumu tiek aprēķināts perpendikulārs aplis ar noteiktu rādiusu
3. Uz apļa tiek aprēķināti N punkti, kas reprezentē robota šķēru pozīciju un orientāciju, kas vērsta tā, lai griezējs būtu perpendikulārs zaram un satvērējs atrastos tuvāk zara augšanas virzienam
4. No N punktiem tiek aprēķināts nākamais tuvākais robota galam un tiek pārbaudīts vai robots spēj nonākt šādā konfigurācijā. Ja nevar, tad - *iet uz soli nr.4*
5. Tiek aprēķināts vai robots spēj nonākt līdz punktam, kas ir paša zara sākums, kur tas tiks nogriezts. Ja var, tad šīs divas robota konfigurācijas (**Task Planning**) tiek saglabātas
6. Tiek aprēķināts robota ceļš (**Path Planning**) no sākuma konfigurācijas secīgi līdz abām gala konfigurācijām. Ceļa plānošanas metode ir lineārā interpolācija
7. Tiek pārbaudīts, vai robota ceļš iekļauj robota konfigurācijas, kas izkrīt no robota kinemātiskajiem limitiem (asu leņķu limiti, singularitātes, dekarta limiti). Ja kādā no konfigurācijām uz ceļa robots sasniedz savus limitus - *iet uz soli nr.4*
8. Tiek pārbaudīts vai robots neietrieksies pats sevī vai apkārtējā aprīkojumā, izmantojot robota kolīzijas modeli (sk. att. 3-25). Ja atrasta kolīzija vai konfigurācija pārāk tuvu kolīzijai (<2cm), tad - *iet uz soli nr.4*
9. Tiek aprēķināta robota trajektorija (**Trajectory Planning**), ņemot vērā robota dinamiskus limitus (motoru griešanas ātrums, paātrinājums, slodzes momenti). Trajektorija ir ceļš kopā ar tā izpildes laiku (**Trajectory = Path + Time**). Izmantota metode ir trapecveida interpolācija ar soli 5ms (sk. att. 3-24)

Beidzot kustības plānošanu, tika aprēķinātas robota konfigurācijas katram laika momentam ar soli 5ms. Piemēram, 10 sekunžu kustībai tiek aprēķinātas 2000 robota konfigurācijas un katra tika pārbaudīta uz limitiem un kolīzijām, lai nodrošinātu kustības izpildi. Atkarīgi no tā, cik veiksmīgi tiks atrasti derīgie apļa punkti, kustības plānošana var aizņemt no 100ms līdz 1s. Tādēļ, kustību plānošana tiek veikta pirms sākt robota kustību.



Att. 0-23. Robota kustības plānošanas algoritms

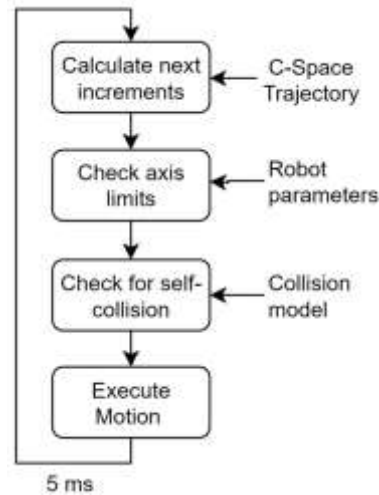


Att. 0-24. Att. D. Trapecveida interpolācijas metode aprēķinot robota trajektoriju



Robota kustības izpilde

Kad robota kustības plānošana tika veiksmīgi pabeigta, nepieciešams robotu pa aprēķināto trajektoriju novest. Lai to izdarītu droši, tiek izmantots sekojošs algoritms:



Att. 0-26. Att. F. Robota kustības plānošanas un izpildes algoritms

HC izpilda kustības inkrementus reizi 5ms, tāpēc RCM mērķis ir nodrošināt robota vadības komandas reizi 5ms, lai kustība notiek efektīvi un bez raustīšanas. Tādējādi, RCM izrēķina inkrementus, pārbauda robota limitus un nosūta inkrementus izpildei, ja nav riska, ka robots ietrieksies pats sevī. Sīkāk par kustības izpildi nākamajā nodaļā.

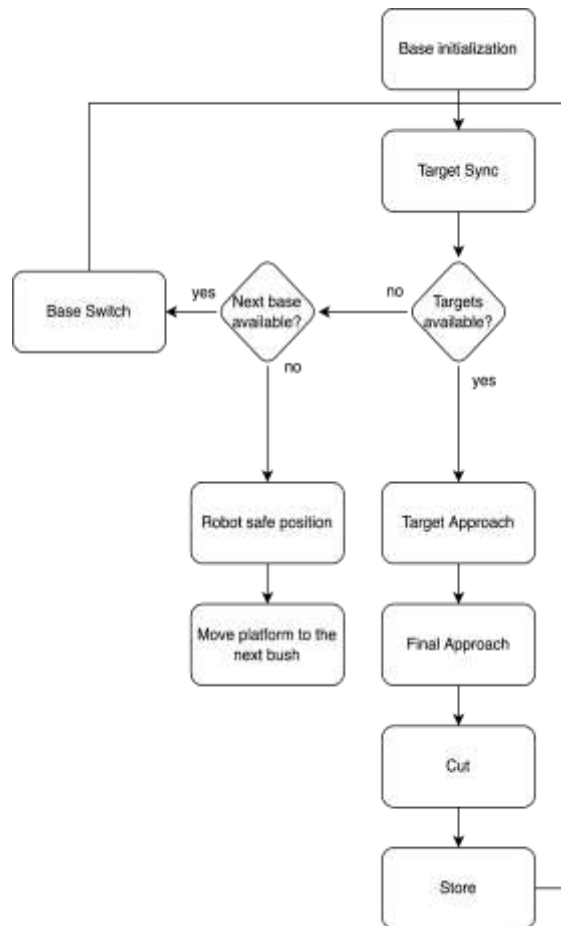
RCM un CVM mijiedarbības algoritms robota vadībai

Robota vadības posmi ir sadalīti sekojoši:

1. Bāzes inicializācija (*Base initialization*)
2. Mērķu sinhronizēšana (*Target Sync*)
3. Pietuvošanās mērķim (*Target Approach*)
4. Finālā pietuvošanās mērķim (*Final Approach*)
5. Zara nogriešana (*Cut*)
6. Zara nogādāšana līdz glabātuvei (*Store*)
7. Robota bāzes maiņa (*Base Switch*)

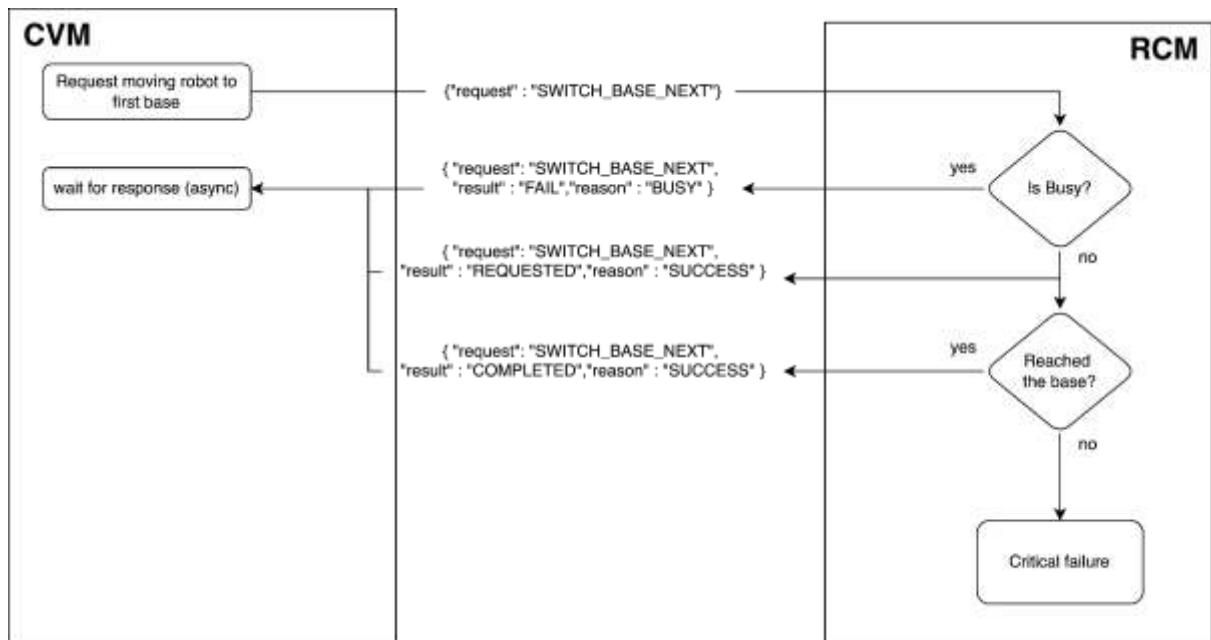
8. Robota pozicionēšana drošā pozīcijā (*Robot safe position*)

Kopējais principiālais CVM un RCM darbības algoritms ir attēlots att. 3-27.



Att. 0-27. Kopējais robota vadības algoritms.

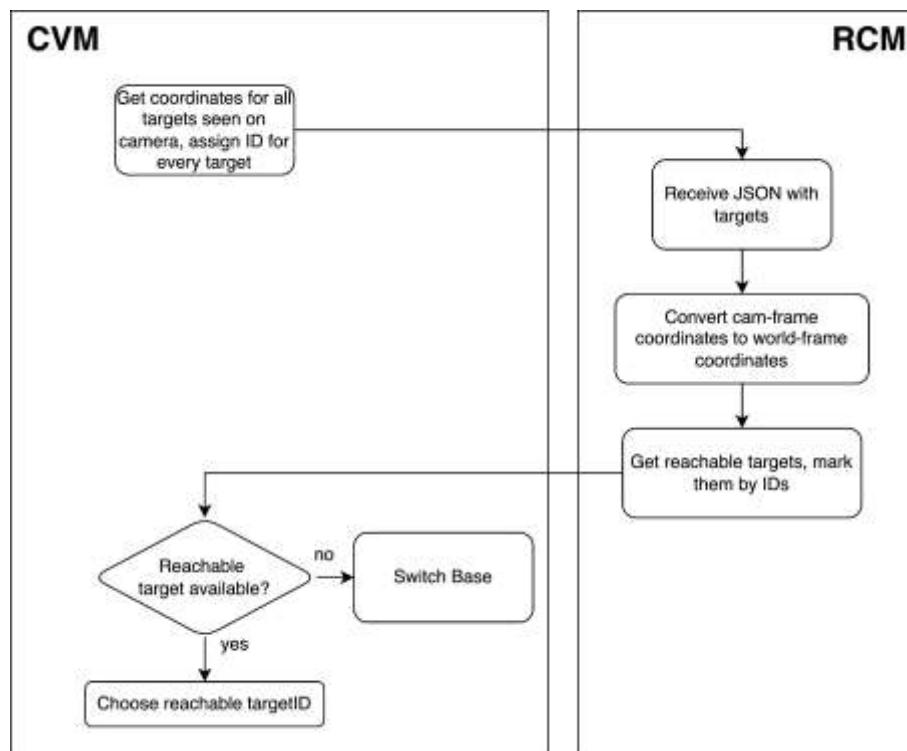
Bāzes inicializācijas posms ir pirmais solis, kas jāveic pēc robota palaišanas un tas kalpo, lai novietotu robotu pirmajā darbības bāzē. Bāze ir robota atrašanās punkta telpā un robota orientācijas kombinācija. Ar vairāku bāžu palīdzību tiek īstenota efektīva mērķu (griešanas punktu) meklēšana un robota kinemātikas ierobežojumu mazināšana. Bāzes inicializācijas posma algoritms kopā ar komunikāciju starp CVM un RCM ir attēlots att. 3-28.



Att. 0-28. Robota pirmreizējās bāzes izvēles algoritms.

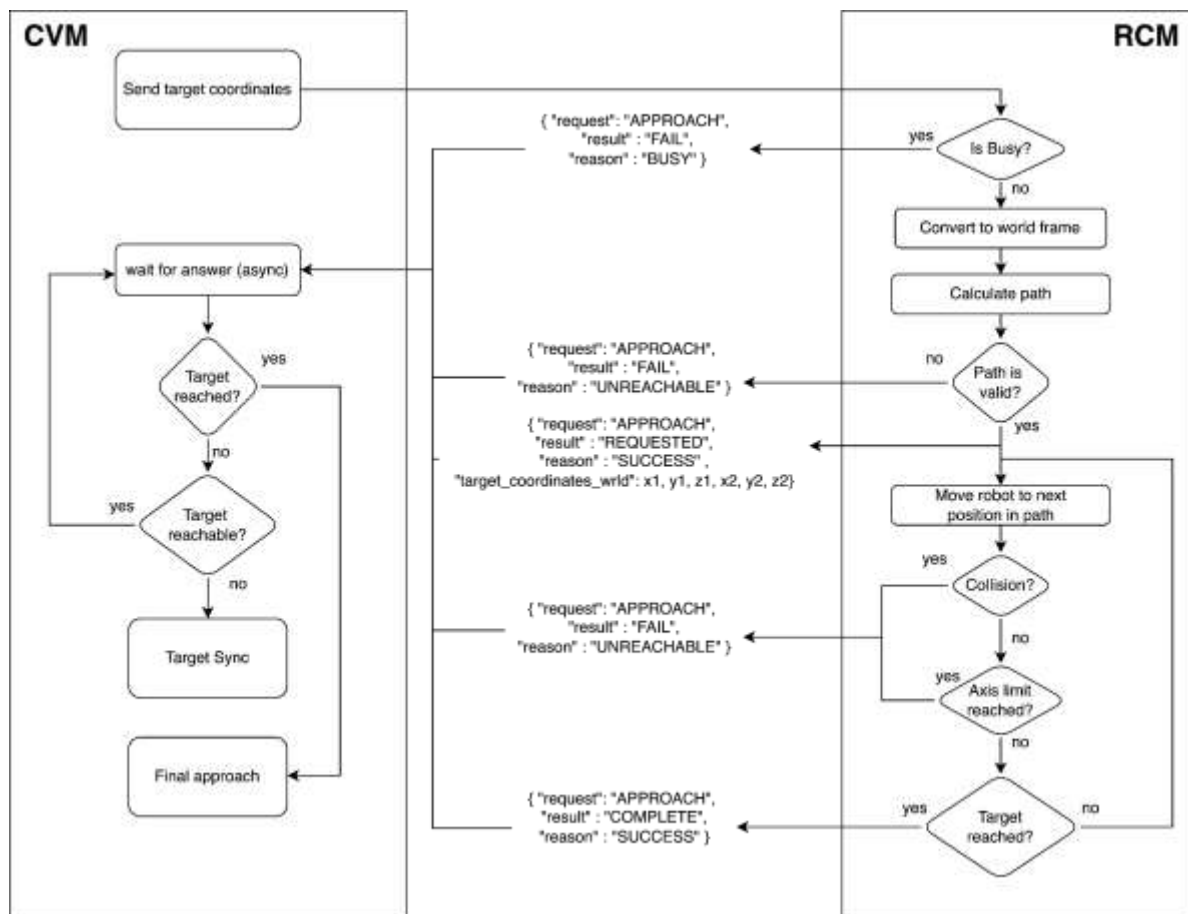
Lai iestatītu robotu pirmajā bāzē CVM modulis ar atbilstošas komandas palīdzību pieprasa RCM modulim robota bāzes maiņu. RCM modulis veic robota vadību un atbild atbilstoši rezultātam.

Tiklīdz robots tika iestatīts pirmajā bāzē tiek uzsākts mērķu sinhronizēšanas posms, kurš ir nepieciešams, lai CVM modulis varētu izvēlēties tādus mērķus, kurus robots fiziski var aizsniegt. CVM modulis apstrādā no kameras iegūtos datus (bilde, dziļumu karte) un nosūta RCM modulim atrasto griešanas punktu un zaru augšanas virziena koordinātes kameras koordinātu sistēmā (tiek izmantots JSON datu formāts). Atbilstoši robota tekošajai pozīcijai RCM pārveido koordinātes pasaules koordinātu sistēmā, pārbauda vai robota kinemātika atļauj sasniegt mērķus un nosūta atbildi JSON datu formātā, kur katram mērķim tiek pievienota informatīva vērtība, kura norāda, vai mērķis ir fiziski sasniedzams. Ja CVM neatrod mērķus, kā arī ja mērķi nav sasniedzami, tiek pieprasīta robota bāzes maiņa. Attēlā att. 3-29. ir attēlots mērķu sinhronizācijas algoritms.



Att. 0-29. Att.DC. Mērķu sinhronizācijas algoritms.

Ja ir pieejams potenciālais mērķis (zars), tiek īstenots pietuvošanās posms. Pietuvošanas posmā robots nerasniedz mērķi, bet pietuvojas tam uz 30cm attālumu, lai pēc nepieciešamības precizēt mērķa koordinātes. CVM modulis nosūta RCM modulim nogriešanas punkta koordinātes un zara augšanas virzienu. RCM modulis apstrādā koordinātes – pārveido pasaules koordinātu sistēmā, aprēķina robota kustības trajektoriju ņemot vērā robota kinemātikas ierobežojumus (singularitātes punktus), atkārtoti pārbauda vai mērķis ir fiziski sasniedzams un inkrementāli pārvieto robotu mērķa virzienā. Katrs robota orientācijas maiņas inkrements (solis) tiek izpildīts 5 milisekunžu laikā un katrs inkrements tiek pārbaudīts, lai robots turētos savas kinemātikas robežās un nesabojātu pats sevi. Par iespējamam kļūdām RCM modulis ziņo CVM modulim. Ja pietuvošanās ir veiksmīga, CVM modulis turpina ar finālu pietuvošanās posmu. Citos gadījumos RCM modulis paziņo kļūdu stāvokļus un CVM atgriežas uz mērķu sinhronizēšanas posmu, esošo mērķi nomarkējot, kā nerasniedzamu. Pietuvošanas algoritms ir attēlots att. 3-30.

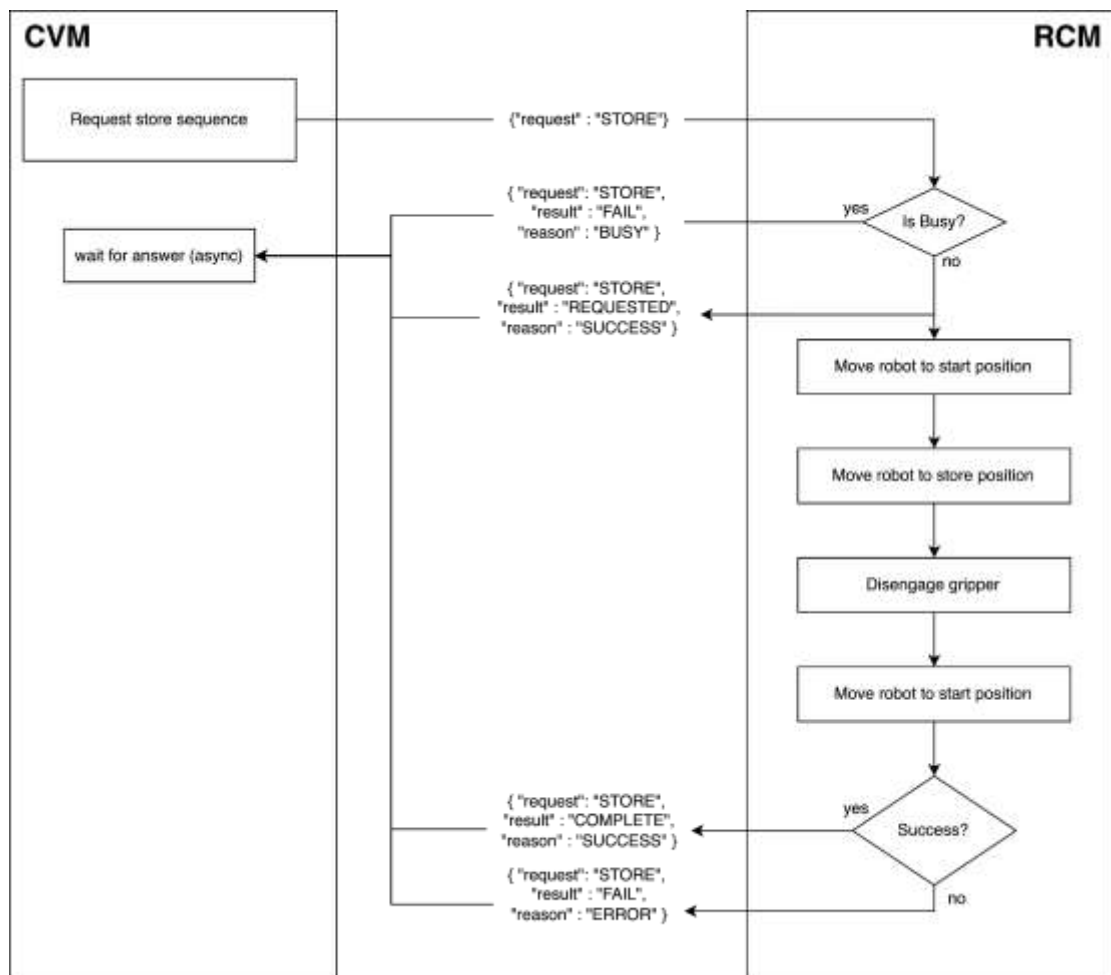


Att. 0-30. Att.DD. Pietuvošanas algoritms.

Ja pietuvošanas posms notika veiksmīgi, tiek īstenots fināla pietuvošanas posms. Tas atšķiras tikai ar to, ka pirms tā posma īstenošanas CVM var atjaunot (precizēt) mērķa koordinātes pēc nepieciešamības. Darbības algoritms ir tāds pats kā att.3-30, un ja fināla pietuvošanas posms ir veiksmīgs tiek īstenots nogriešanas posms.

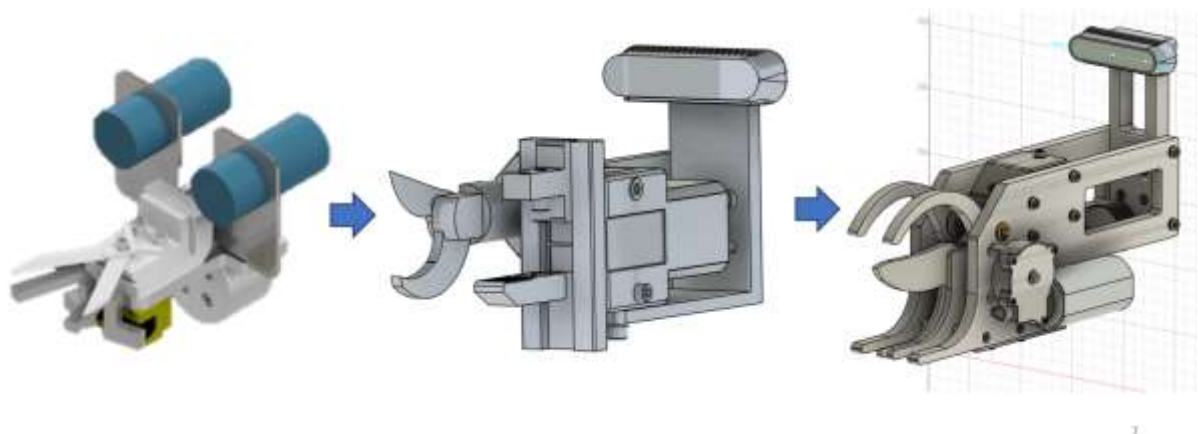
Nogriešanas posmā pēc CVM moduļa komandas RCM modulis sākumā nofiksē zaru ar satvērēju un tad nogriež ar šķērēm. RCM modulis paziņo par izpildes stāvokļiem, un CVM modulis turpina ar posmu, kur nogrieztais zars tiek nogādāts līdz glabātuvei.

CVM modulis pieprasa nogādāt nogrieztu zaru līdz glabātuvei un RCM modulis sākumā pārvieto robotu uz starta pozīciju (tekošo bāzi), tad nogādā zaru līdz glabātuvei, atlaiž satvērēju un atgriežas uz starta pozīciju, no kuras gatavs atkal sākt mērķu sinhronizēšanu. Zara nogādāšanas algoritms ir attēlots att. 3-31.



Att. 0-31. Zara nogādāšanas algoritms.

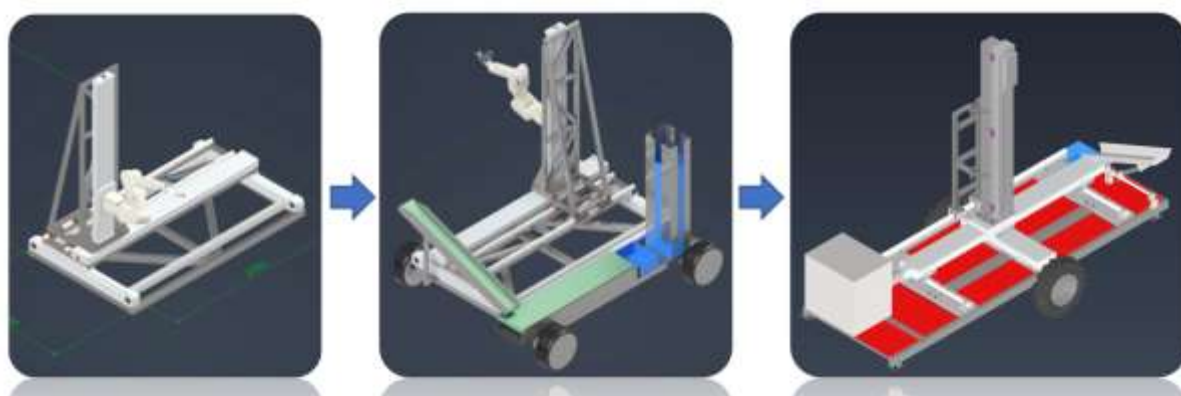
Kad visi mērķi visās bāzēs ir apstrādāti CVM modulis pieprasa novietot robotu drošā pozīcijā, lai to transportētu līdz nākamajam krūmam.



Att. 0-32. Zara griešanas mehānisma risinājumi.



Att. 0-33. Zara griešanas algoritma testi LATMAS telpās.

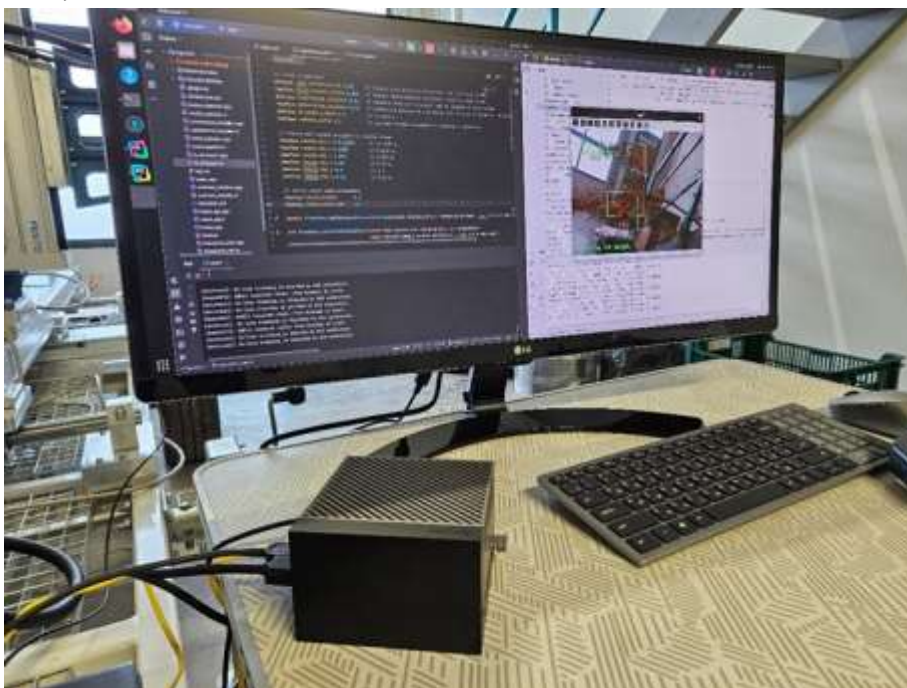


Att. 0-34. Sistēmas evolūcija.

Datorredzes un robota vadības funkcionalitātes testēšanas rezultāti LATMAS telpās:

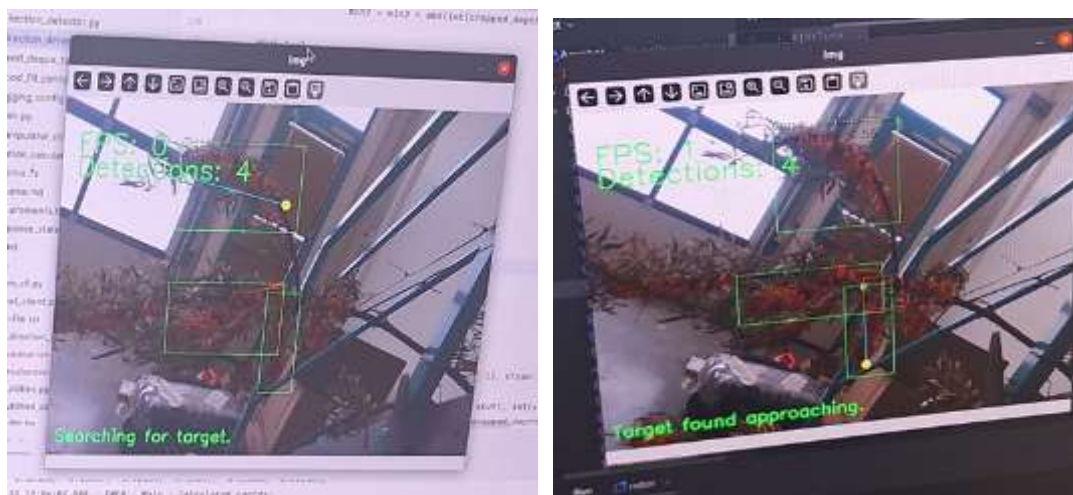
- Iegultā industriālā datorā Jetson AGX Orin (edge-computer) veiksmīgi integrēta robota vadības moduļa un datorredzes moduļa programmatūra;

- Parbaudīta un apstiprināta datorredzes algoritma un programmas spēja atpazīt smiltsērķšķa zarus ar ogām;



Att. 3-34. Industriālā datorā integrēta programmatūra un zaru atpazīšana

- Parbaudīta un apstiprināta datorredzes moduļa spēja noteikt zara augšanas virzienu, zara sākuma un beigu punktu noteikšana;



Att. 3-36. Zaru sasniedzamības pārbaude, virziena un griešanas punkta noteikšana, un savākšanas procesa iniciēšana

- Pārbaudīta un apstiprināta mijiedarbība starp datorredzes moduli un robota vadības moduli, kur datorredzes modulis nosāka darbības posmu secības izpildi:
 - o Datorredzes modulis sāka zaru meklēšanas un atpazīšanas posmu
 - o Robota vadības modulis veiksmīgi aprēķina sasniedzamību un nosaka potenciāli griežamus zarus;

- o Datorredzes modulis veiksmīgi nodod punktu koordinātes un dod komandu sākt savākšanas procesu;
- o Tiek koordinēta robota kustības vadība tuvojoties zaram un griešanas vietai, kā arī zara satvēršanai, griešanai un uzglabāšanai secībai komandām;
- o Neatradot sasniedzamus zarus robots maina bāzes pozīciju, mēģinot atpazīt un sasniegt citus zarus.

Līdz ar to var secināt, ka visi programmatūras darbības pārbaudes testi veiksmīgi iziet.

Testi lauka apstākļos

Pirmais tests

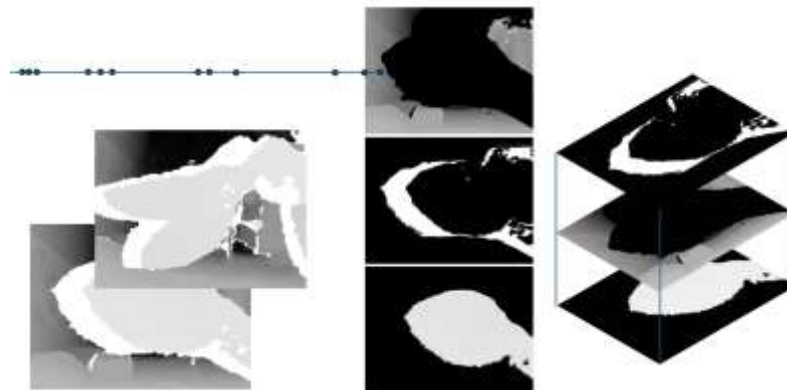
Pirmie robota testi laukā notika 2024.g. 4.-6. septembrī, kas parādīja tās darboties spēju dažādos diennakts laika apstākļos, tai skaitā arī tika pārbaudīta darbība sarežģītos apstākļos – tumsā ar mākslīgo apgaismojumu un spilgtā saulē un pie neliela vēja esamības. Dienas gaismā un pie vēja esamības robots demonstrēja labu zara sekošanas funkcionalitāti. Ar mākslīgo apgaismojumu un tumsu fonā atpazīšana pasliktinājās, jo līdz šim brīdim neironu tīkla apmācībai tikai izmantotas bildes, uzņemtas dienas laikā.



Att. 0-35. Robota testēšana SIA Zaptsmaize laukā

Atklājas arī nepilnības – 1) robots pārslēdzas no viena mērķa zara uz citu; 2) zaudē mērķa punktu, ja zars ir pārāk garš un to nevar redzēt pilnībā vienā kadrā un 3) esošais griešanas punkta atpazīšanas algoritms strādā nekorekti reālajos apstākļos. Šīs nepilnības plānots izlabot nākamajos posmos.

Šobrīd notiek darbs pie papildus attēlu apstrādes un neironu tīkla apmācības algoritmu un programmas izstrādes datu filtrēšanai, augšanas virziena noteikšanai un griešanas punkta atpazīšanai.



Att. 0-36. Jaunas attēla apstrādes (zara attēla filtrācijas) metodes darbības shēma

Tiks gaidīts, ka tiks precīzāk atrasts griešanas punkts un robota manipulators pareizi pozicionēsies zara griešanai.

No Agrobots platformas un robota rokas sistēmas izstrādes procesa viedokļa, testi parādīja, ka plānotais ģenerators un robota esošais atdalošais transformators būtu aizvietojams ar elektronisko barošanas bloku un mazāku ģeneratoru kā sākotnēji iecerēts. Tas ļaus samazināt sistēmas kopējo masu un ietaupīs vietu uz platformas, ka var izmantot citiem mērķiem.



Att. 0-37. Lauka testi SIA Zapsmaize.

Otrais tests SIA Zaptsmaize

LATMAS asistēja testu veikšanā:

Prototips tika sagatavots transportēšanai, nodrošinot mehānisko komponentu nostiprināšanu un aizsardzību pret vibrācijām un mitrumu. Piegāde veikta ar specializētu transportu, ņemot vērā iekārtas izmērus, svaru un jutīgās daļas. Uztādīšanas vietā veikta izkraušana, pozicionēšana un sākotnējā vizuālā pārbaude, lai pārlicinātos par iekārtas stāvokli pēc pārvietošanas.



Att. 0-38. uzkraušnās lauka testiem SIA Zaptsmaize.

Pēc piegādes veikta sistēmas atkārtota montāžas pārbaude, savienojumu nostiprināšana un elektroinstalācijas pārskatīšana. Tika pieslēgts barošanas avots, aktivizēta vadības sistēma un veikta komunikācijas testēšana starp kontrolieri, sensoriem un piedziņām. Pārbaudīta datu plūsma un signālu reakcija uz vadības komandu ievadi.



Att. 0-39. Agrobots uzstādīšana lauka testiem SIA Zaptsmaize.

Testu veikšanā nodrošināta klātienes asistēšana, iekļaujot tehnisko atbalstu kustību parametru kalibrēšanā, programmatūras iestatījumu pielāgošanā un kļūdu diagnostikā. Tika veikti funkcionālie testi, kustību precizitātes mērījumi, slodzes simulācijas un reakcijas laika novērtējumi. Testēšanas laikā veikta arī industriālo šķēru darbības pārbaude dažādos režīmos.

Asistēšanas laikā piesaistīti ražotāju tehniskie speciālisti, kas sniedza konsultācijas par komponentu konfigurāciju, optimālu parametru iestatīšanu un sistēmas stabilitātes nodrošināšanu. Tika veikta reālā darba scenāriju imitācija, lai pārbaudītu iekārtas piemērotību praktiskai pielietošanai.

Veikta kvalitātes kontrole, sistēmas pārbaude.



Att. 0-40. Agrobots satvērēja/griezēja mehānisma testēšana.



Att. 0-41. Agrobots satvērēja un kustības vadības programmas testēšana



Att. 0-42. Agrobots uzstādīšana lauka testiem SIA Zaptsmaize.

Testēšanas gaitā tika pārbaudīta iespēja robota pievienošanas un pārvietošanas iespēja ar traktora palīdzību.





Att. 3-25. Savienojums un pārvietošana ar traktoru

Programmatūras testēšanas rezultāta tika apstiprināta tās darbspēja:

- Laukā apstākļos noteikt zarus ar ogām
- Noteikt zara augšanas virzienu, zara sākuma un beigu punktus;
- Robota rokas trajektorijas vadība tuvojoties zaram un griešanas punktam
- Zara satveršana
- Zara griešana





Att. 3-25. Kustības, satveršanas un griešanas process

Līdz ar to var secināt, ka visi programmatūras darbības pārbaudes lauka testi veiksmīgi izieti.

Konstatēti robota manipulatora mehāniskas darbības trūkumi un turpmākas pilnveidošanas iespējas:

- nofiksēti gadījumi, kad satveršanas mehānisms nevar noturēt zaru;
- nofiksēti gadījumi, kad satveršanas mehānisms strādā pārāk spēcīgi un griež zaru;
- nofiksēti gadījumi, kad šķēru garums ir nepietiekošs, lai nogrieztu zaru.

Iegūto ražas datu novērtējums

Ražas kvalitāte:

Kopumā ražas kvalitāti ietekmē tikai griešanas sistēma (šķēres), t.i. griešanas vietā saspiesto ogu zudumi, ko cilvēks manuāli ievācot, rada mazākus zudumus. No kopējā vāļīšu laukuma, varam lēst, ka tie ir līdz 0-5% robežās, kas ir pieņemami no automatizācijas viedokļa, jo EUR izteiksmē ieguvumi ir daudzkārt lielāki. Atsevišķi risināms jautājums ir nogrieztu zaru dimensijas, lai tās būtu piemērotas tālākai pārstrādei:



Att. 3-25. Zari, kas ir sarežģīti pārstrādei

Agrobots sistēmas nepieciešamie uzlabojumi:

1. Šķērēm nepieciešama modifikācija, lai tas spēj nogriezt arī zarus, kas ir resnāki par 1.5cm diametru, tas ļautu to izmantot dažāda tipa smiltsērķšķu laukos.
2. Zaru satveršanai un noturēšanai ir nepieciešama satveršanas spēka samēra optimizācija, tika novērots, ka tas ir spēcīgāks, un attiecīgi zars var izkrist no robota rokām. Te kā risinājums varētu tikt izmantots papildus sensors, gala slēdzis, pretestība/spiediens vai

kapacitatīvais sensors, kas faktiski ir “tuvuma” detektēšanas sensors ar spēju noteikt “uzspiediena spēku” netiešā veidā. Diemžēl šādi sensori nav tirgū pieejami atbilstošajam pielietojumam un tādi būtu jāizveido no jauna.

3. Elektriskā barošanas daļa potenciāli ir uzlabojama, no gabarītu viedokļa, t.i. to būtu iespējams barot caur vilces traktora ģeneratoru/spēka kabeli (ja tāds iespējams), te jāatzīmē, ka būis nepieciešams pārveidotājs. Otrs variants ir piemeklēt mazāku dīzeļģeneratoru un elektroenerģijas uzkrājēja sistēmu, kas samazinātu kopējos gabarītus un iespējams arī svaru.
4. Salāgotas nogrieztu zaru dimensijas izvēlētajai pārstrādes tehnoloģijai.

Novērtējums no krūmmelleņu perspektīvas

Krūmmellenēm ir dažādas šķirnes, kur Latvijā tipiskākās ir zemās šķirnes līdz 1.8m (<https://krummellenes.lv/skirnes/>), Agrobots tehniskais risinājums ir pielietojams augstākiem krūmiem vai augsto krūmmelleņu šķirnēm (2-4m), kas ir līdzīgi smiltsērķšķiem. Agrobots sistēmu var piemērot arī zemākām šķirnēm, ja tiek veikta konstrukcijas izmaiņa – pielāgojot lineārās piedziņas sistēmas un papildinot ar atsevišķiem mehāniskajiem balsta mezgliem, kas nodrošinātu atbilstošo augstumu un griezējmehānisma vietā (šo pieeju var izmantot atzarošanai) nepieciešams cits ogu lasīšanas mehānisms (ogu kombaina tipa vai vibro/kratīšanas tipa). No programmatūras viedokļa – ir jāapmāca mākslīgā intelekta (AI) algoritms (nepieciešams liels skaits ogu un krūmu attēlu), no vadības programmas viedokļa esošā pieeja kustības trajektorijas izveidei būtu pār-izmantojama, definējot citu uzdevumu un pamainot izmantoto gala instrumentu.

Šeit jāatzīmē, ka tirgū ir alternatīvas, kas būtu daudz ātrākas/ražīgākas (Oxbo, KAREN, Jagoda-300, Havy 500 u.c.) šim pielietojumam (krūmmellenes, avenes), lai arī ar robotu – tas darbu varētu veikt ar mazākiem zudumiem. Salāgojot robotu ar šīm pieejām būtu iespējams izveidot universālāku ogu lasīšanas sistēmu, bet šeit nepieciešama plašāka izpēte, ko varētu veikt izmantojot digitālos dvīņus (datormodeļus).

Projekta realizācijas gaitā tika secināts, ka fokuss jāvelta uz smiltsērķšķiem, ņemot vērā lielos izaicinājumus, tādēļ lauka testi krūmmellenēm netika veikti, arī risku, darba lietderības un laika tūkuma dēļ.

Publicitātes pasākumi

Seminārs Nr.1.

Šajā posmā notika industrijas seminārs “Par projekta “Augļu krūmu zaru griešanas kombains AgroBots” īstenošanu (17.05.2023. plkst. 10:00-12:00, RTU Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte, Āzenes iela 12/1, 212.kab.).

Agrobots projekts tika prezentēts (ar vienu slaidu) RTU izstrādņu kopīgajā prezentācijā, Tiešsaistes seminārā par Latvijas zinātnisko institūciju piedāvātajām iespējām inovācijām zivsaimniecībā un zilajā ekonomikā (2023.gada 13.jūnijs plkst. 11:00) (saziņai: ZM Zivsaimniecības departamenta, Zivsaimniecības atbalsta nodaļas vecākais eksperts Kristaps Pilskalns)



Noslēguma seminārs

Aicinājums uz informatīvo noslēguma semināru par projekta “Augļu krūmu zaru griešanas kombains AgroBots” īstenošanu un rezultātiem



Pasākuma plāns un formāts:

Laiks	Tēma
14:00-14:10	Ierašanās
14:10-15:10	Agrobots projekta gaitas prezentācijas: - kopsavilkums par projektu (A.Avotiņš, RTU) - Datorredzes mezgla izveide un izaicinājumi (M.Gorobecs, RTU) - Agrobots kustības vadības sistēma (A.Stupāns, RTU) - Agrobots mehānisko mezglu izveide un risinājumi (V.Barkovskis, SIA LATMAS) - Galvenie secinājumi (Arnis Dzalbs, SIA Zaptsmaize).
15:10-15:40	Agrobots sistēmas demonstrācija
15:40-16:00	Kafijas pauze un diskusijas daļa

Pasākuma datums un vieta:

05.12.2025. plkst. 14:00-16:00

Jūrmalas iela 3A, Piņķi B35 angārs (Nordspace teritorija) – Google Maps saite [šeit](#).

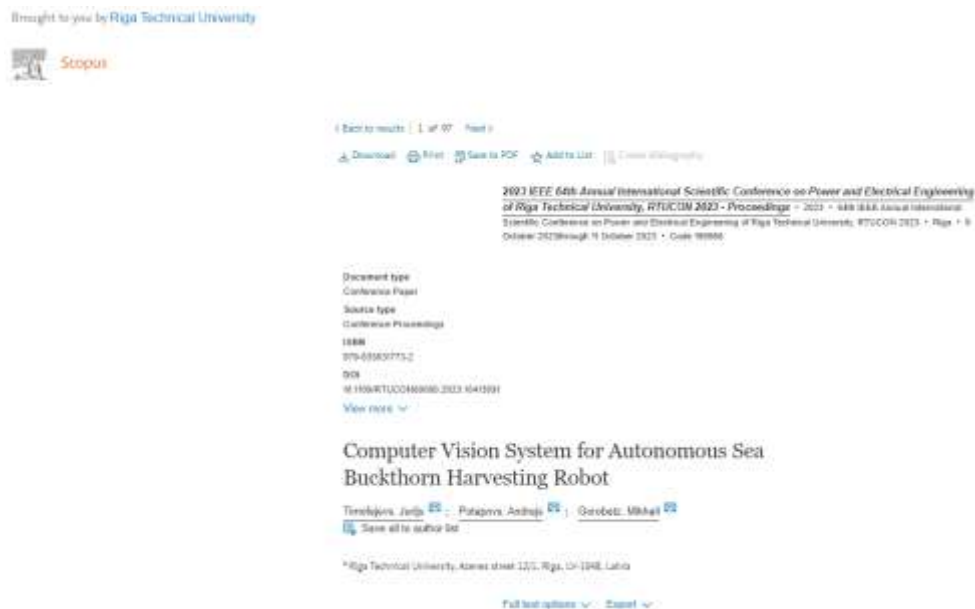
Par ierašanos informēt līdz 03.12.2025.: Reģistrācijas lapā [šeit](#).

Paziņojums ievietots arī Lauku Tīkla mājaslapā: <https://laukutikls.lv/notikumi/projekta-auglu-krumu-zaru-griesanas-kombains-agrobots-informativais-nosleguma-seminars/>

Publikācijas

RTUCON 2023

SCOPUS publikācija un prezentācija “Jurijs Timofejevs, Andrejs Potapovs and Mikhail Gorobetz "Computer Vision System for Autonomous Sea Buckthorn Harvesting Robot" (9677)” [RTUCON 2023](#), kas norisinājās 09-11.10.2023. Publikācija tika akceptēta un pieejama SCOPUS datubāzē.



Att. 0-1. Attēls no SCOPUS datubāzes.

RTUCON 2024

SCOPUS publikācija un prezentācija - Timofejevs J., Gorobetz M., Potapovs, Andrejs “Computer Vision Based Recognition Algorithm for Sea Buckthorn Harvesting Robot”, 2024 IEEE 65th Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2024 - Proceedings Conference Paper 2024. DOI: 10.1109/RTUCON62997.2024.10830877, Pieejama SCOPUS datubāzē.

[Back](#)

Computer Vision Based Recognition Algorithm for Sea Buckthorn Harvesting Robot

0

[Citations](#)

2024 IEEE 60th Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUACON 2024 - Proceedings - Conference Paper • 2024 • DOI: 10.1109/RTUACON62987.2024.10630677

Timofeevs, Juris [ORCID](#); Goropets, Mikhail [ORCID](#); Podapovs, Andrejs [ORCID](#)

Riga Technical University, Aizsēdes street 12/1, Riga, LV-1048, Latvia

[Show all information](#)

[View PDF](#) [Full text](#) [Export](#) [Save to list](#)

[Document](#) [Impact](#) [Cited by \(5\)](#) [References \(10\)](#) [Similar documents](#)

Abstract

Sea buckthorn harvesting presents challenges in labour requirements and costs, urging the need for technological advancements. This paper discusses the applicability of adaptive systems, computer vision, and robotics in agricultural tasks, focusing on the development of an autonomous computer vision-based sea buckthorn harvesting robot. The paper outlines the overall architecture of the robot and presents results demonstrating its detecting ability. Additionally, a branch detection algorithm is described. The research shows satisfactory precision levels for detection on known samples, although precision for new samples requires improvement in future research steps. The outlined conclusions highlight the achieved milestones in the development of the sea buckthorn harvesting robot and emphasize areas for further refinement and enhancement. © 2024 IEEE.

Abstract

[Author keywords](#)[Indexed keywords](#)[Funding details](#)

Author keywords

Computer Vision; Deep neural network; Harvesting; machine learning

ERDV 2024

2024. g. 23.maijā ERDev konferencē (<https://www.iitf.lbtu.lv/conference/>) tika noprezentēts zinātniskais raksts ar nosaukumu “Development and Testing of Automated Control System for Sea Buckthorn Berry Harvesting Robot AgroBot”. Raksta gala versija un prezentācija pievienoti pielikumos.

[Back](#)

DEVELOPMENT AND TESTING OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR SEA BUCKTHORN BERRY HARVESTING ROBOT "AGROBOT"

Engineering for Rural Development • Conference Paper • 2024 • DOI: 10.22616/ERDev.2024.23.TF175 

Slupans, Andrejs ; Maksimkins, Pavels ; Senfelds, Armands ; Ribickis, Leonids 

Riga Technical University, Latvia

[Show all information](#)

[Full text](#)  [Export](#)   [Save to list](#)

[Document](#) [Impact](#) [Cited by \(0\)](#) [References \(12\)](#) [Similar documents](#)

Abstract

The paper describes the control system of an autonomous agriculture robot and evaluates its operation using a laboratory stand and a digital environment. AgroBot is an autonomous sea buckthorn berry harvesting robot. It automatically finds the bush branches to harvest, cuts them, and stores them in a box. AgroBot consists of a 3 DOF (Degrees of Freedom) Cartesian mobile platform and a Hyundai HH7 industrial robot arm with 6 DOF. The control system is specifically designed for real-time operation, enabling AgroBot to adapt to dynamic environmental conditions (wind, varying light) that complicate target tracking. The control system consists of two modules operating as two separate programs. The first module is the Computer Vision Module (CVM) which has high-level control of AgroBot operation. It uses feed from cameras to find the cutting spot and sends commands to approach, cut, store, and search. The module is written in Python. The second module is the Robot Control Module (RCM) which receives high-level commands from CVM and manages lower-level control of the Hyundai Controller (HC). RCM calculates the robot trajectory to a target position, communicates with both CVM and HC in parallel threads and handles errors. As HC requires time-critical control, RCM is written in C++. RCM and CVM are running on one computer communicating via sockets. As the mobile platform hardware is in the development stage and is not available at the moment, the digital twin of the robot is created to test the system's performance in a simulated environment. The input to the digital twin is the same as for the actual robot. It is the x, y, z position and orientation A, B, C using Euler angles. The digital twin visualization is developed in the Unity game engine. Matlab Robotic Toolbox is used with the Levenberg-Marquardt solver algorithm to calculate inverse kinematics of