



Pētījums Nr. 11

Pētījums par datorredzes paņēmienu attīstību industrijas procesu norises automatizācijai

Ričards Cacurs
(ricards.cacurs@edi.lv)
Elektronikas un datorzinātņu
institūts,
Dzērbenes iela 14,
Rīga, Latvija

Darbības programmas "Izaugsme un nodarbinātība" 1.2.1. specifiskā atbalsta mērķa "Palielināt privātā sektora investīcijas P&A" 1.2.1.1. pasākuma "Atbalsts jaunu produktu un tehnoloģiju izstrādei kompetences centru ietvaros" projekta "Latvijas elektrisko un optisko iekārtu ražošanas nozares kompetences centrs" (Nr. 1.2.1.1/16/A/002)

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Reģionālās
attīstības fonds

I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

Programma

- **Ievads** - Ievads par industrijas procesu automatizācijas problēmu un risinājumu aktualitāte. Izstrādātās sistēmas kopējā arhitektūra.
- **Industriālo robotu vadība** - Industriālo robotu vadība izmantojot ROS. *Pick and place* uzdevuma izklāsts un analīze. 3D kamera - robots kalibrācija.
- **Datorredze** - Mašīnredzes algoritmi objektu detektēšanai, objektu klasifikācijai. (Mākslīgais intelekts, Mākslīgie neironu tīkli, Mašīnmācīšanās, apmācības datu ģenerēšana).
- **Papildsensori** - Cita veida sensoru (bezkontakta temperatūra sensors, attāluma sensors) savietošana ar ROS, izmantojot LoRa bezvadu komunikāciju.
- **Datorredze iegultās sistēmās** - Attēlu apstrādes risinājumu implementēšana iegultās sistēmās. FPGA SoC.
- **Izstrādātās sistēmas demonstrācija un diskusija**

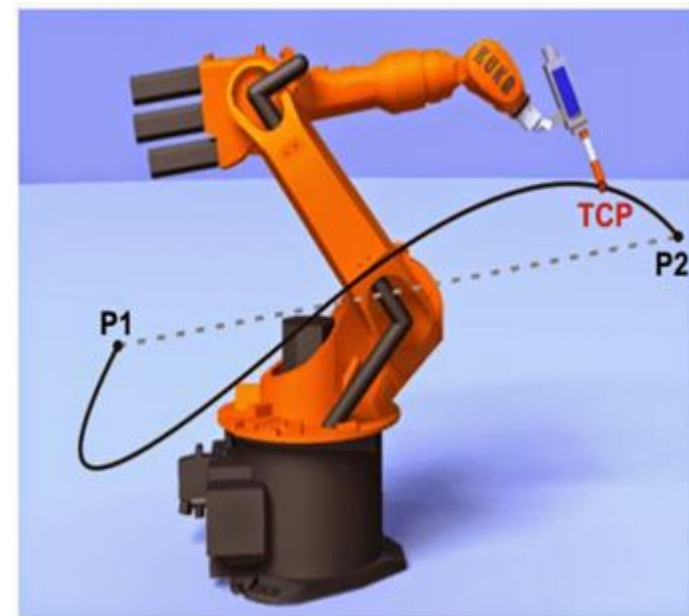
Aktualitāte

Uzstādīto industriālo robotu vienību skaits (tūkstošos)



Problēma

- **Industriālie roboti** spēj veikt **iepriekš definētas** darbības ar **augstu atkārtošanas precizitāti**. Tas ļauj automatizēt iepriekš precīzi definētus scenārijus, bet ja scenārijos ir pieļaujamās **variācijas** (mainīgi objekti, to novietojums, skaits u.c), kuras nav iespējams robotam ieprogrammēt, šos scenāriju automatizēt ar vienkāršiem robotu risinājumiem nav iespējams.



Piemērs

Dažādi izkārtotu, dažāda veida objektu izņemšana no konteineru. Vienkāršs uzdevums cilvēkam, taču sarežģīts datoriem.

Uzdevuma veikšanai jāspēj:

- Noteikt atdālāmus objektus.
- Atpazīt šos objektus.
- Noteikt šo objektu atrašanās vietu telpā.
- Paņemt objektu un to pārvietot izvairoties no šķēršļiem.

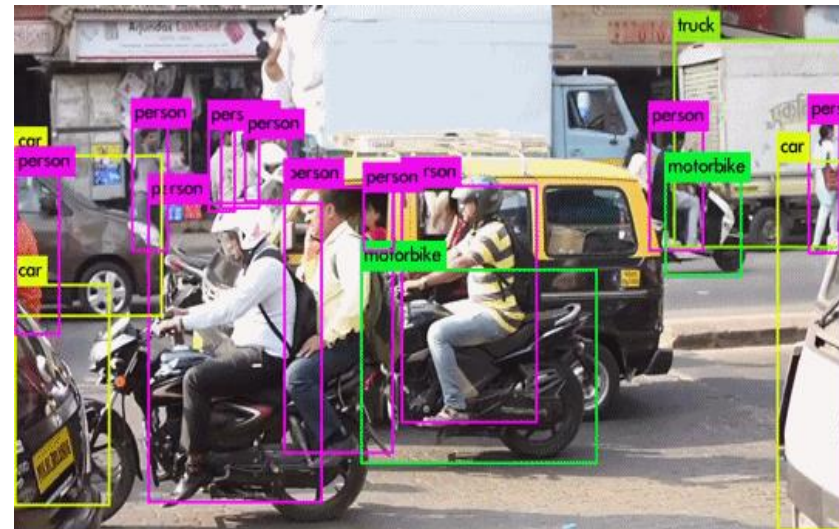


Risinājumi

Dažādi izkārtotu, dažāda veida objektu atlasīšana no konteinera. Vienkāršs uzdevums cilvēkam, taču sarežģīts datoriem.

Uzdevuma veikšanai jāspēj:

- **Noteikt atdālāmus objektus.**
- **Atpazīt šos objektus.**
- Noteikt šo objektu atrašanās vietu telpā.
- Paņemt objektu un to pārvietot to izvairoties no šķēršļiem.



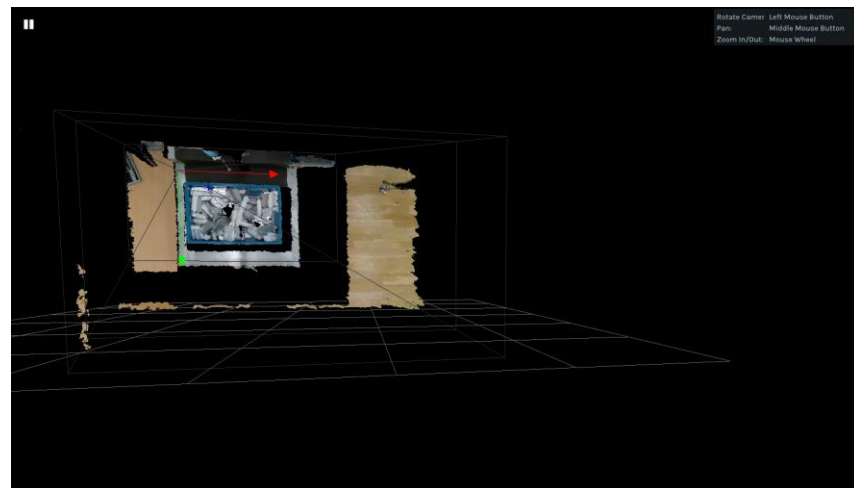
Objektu detektēšana un atpazīšana no attēliem, izmantojot mākslīgos neironu tīklus.

Risinājumi

Dažādi izkārtotu, dažāda veida objektu atlasīšana no konteinera. Vienkāršs uzdevums cilvēkam, taču sarežģīts datoriem.

Uzdevuma veikšanai jāspēj:

- Noteikt atdālāmus objektus.
- Atpazīt šos objektus.
- **Noteikt šo objektu atrašanās vietu telpā.**
- Paņemt objektu un to pārvietot to izvairoties no šķēršļiem.



Intel RealSense 3D kamera

Risinājumi

Dažādi izkārtotu, dažāda veida objektu atlasīšana no konteinera. Vienkāršs uzdevums cilvēkam, taču sarežģīts datoriem.

Uzdevuma veikšanai jāspēj:

- Noteikt atdālāmus objektus.
- Atpazīt šos objektus.
- **Noteikt šo objektu atrašanās vietu telpā.**
- Paņemt objektu un to pārvietot to izvairoties no šķēršļiem.



Intel RealSense 3D kamera (aktīvā un pasīvā stereo redze) (cena līdz 200 euro)



Microsoft Kinect V2 sensors (aktīvā stereo redze) (cena līdz 200 euro, vairs neražo)



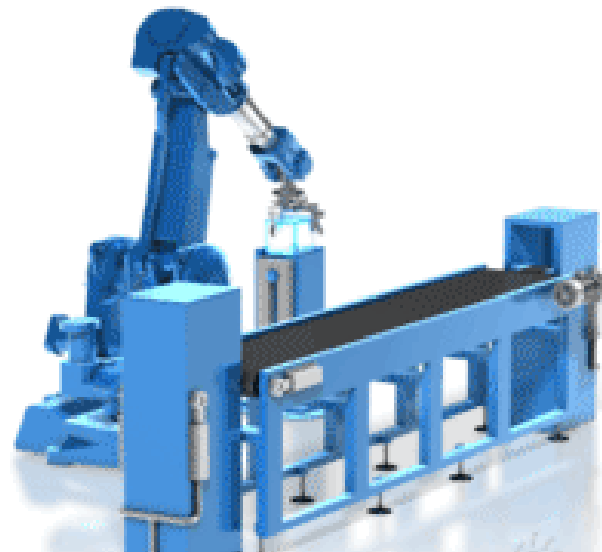
StereoLabs ZED kamera (pasīvā stereoredze) (cena līdz 500 euro)

Risinājumi

Dažādi izkārtotu, dažāda veida objektu atlasīšana no konteinera. Vienkāršs uzdevums cilvēkam, taču sarežģīts datoriem.

Uzdevuma veikšanai jāspēj:

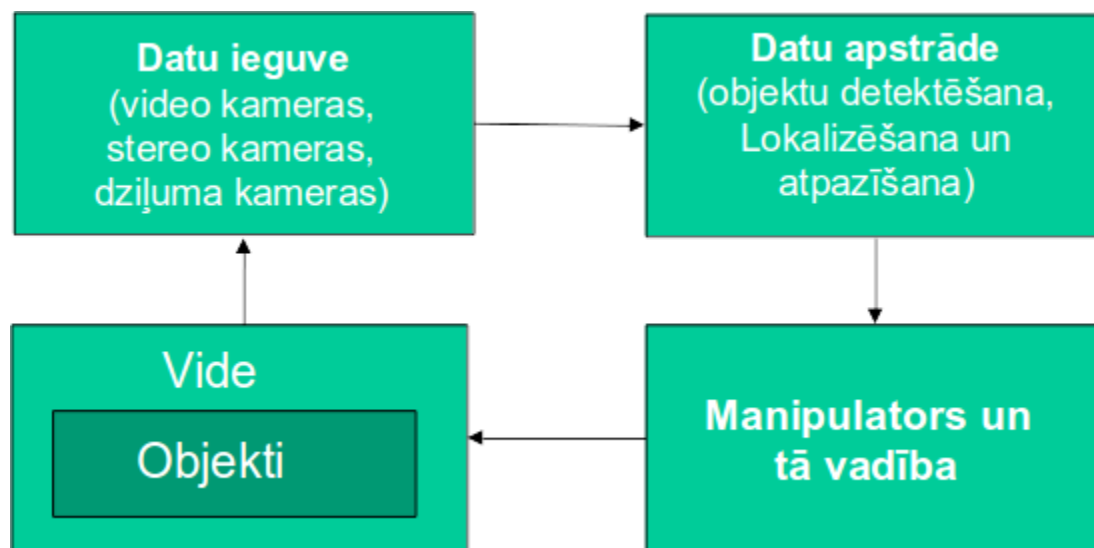
- Noteikt atdālāmus objektus.
- Atpazīt šos objektus.
- Noteikt šo objektu atrašanās vietu telpā.
- **Paņemt objektu un to pārvietot to izvairoties no šķēršļiem.**



Vairāki robotu ražotāji: ABB, Universal Robots, Kuka, Staubli u.c.

Risinājums

Izmantojot datorredzes risinājums iegūt 3D informāciju par vidi un objektiem tajā, ļaujot realizēt adaptīvu industriālo robotu darbību izpildi.



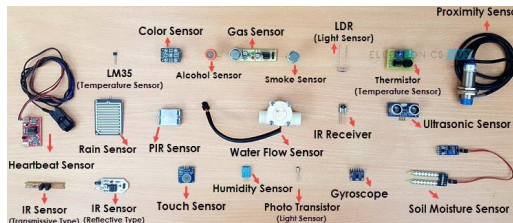
Komponenšu integrēšana



Attēlu apstrādes, mākslīgā
intelekta rīki

**Kā efektīvāk
apvienot šo visu
vienā sistēmā?**

Citi sensori



Industriālie roboti

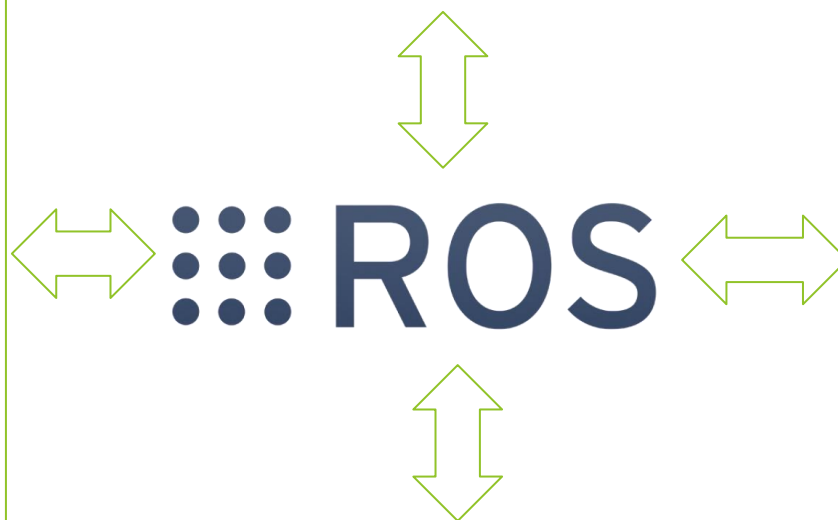


Datorredzes
aparatūra

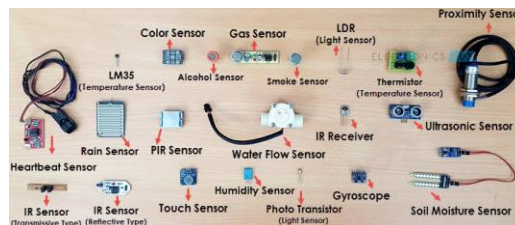
Komponenšu integrēšana



Attēlu apstrādes, mākslīgā
intelekta rīki



Citi sensori



Datorredzes
aparatūra



Industriālie roboti

Robotu operētājsistēma

Robotu operētājsistēma (ROS) ir elastīga, uz atvērtā koda programmatūras balstīta, robotu programmatūras izstrādes platforma. Tā ietver sevī dažādus rīkus, bibliotēkas un aparatūras draiverus.



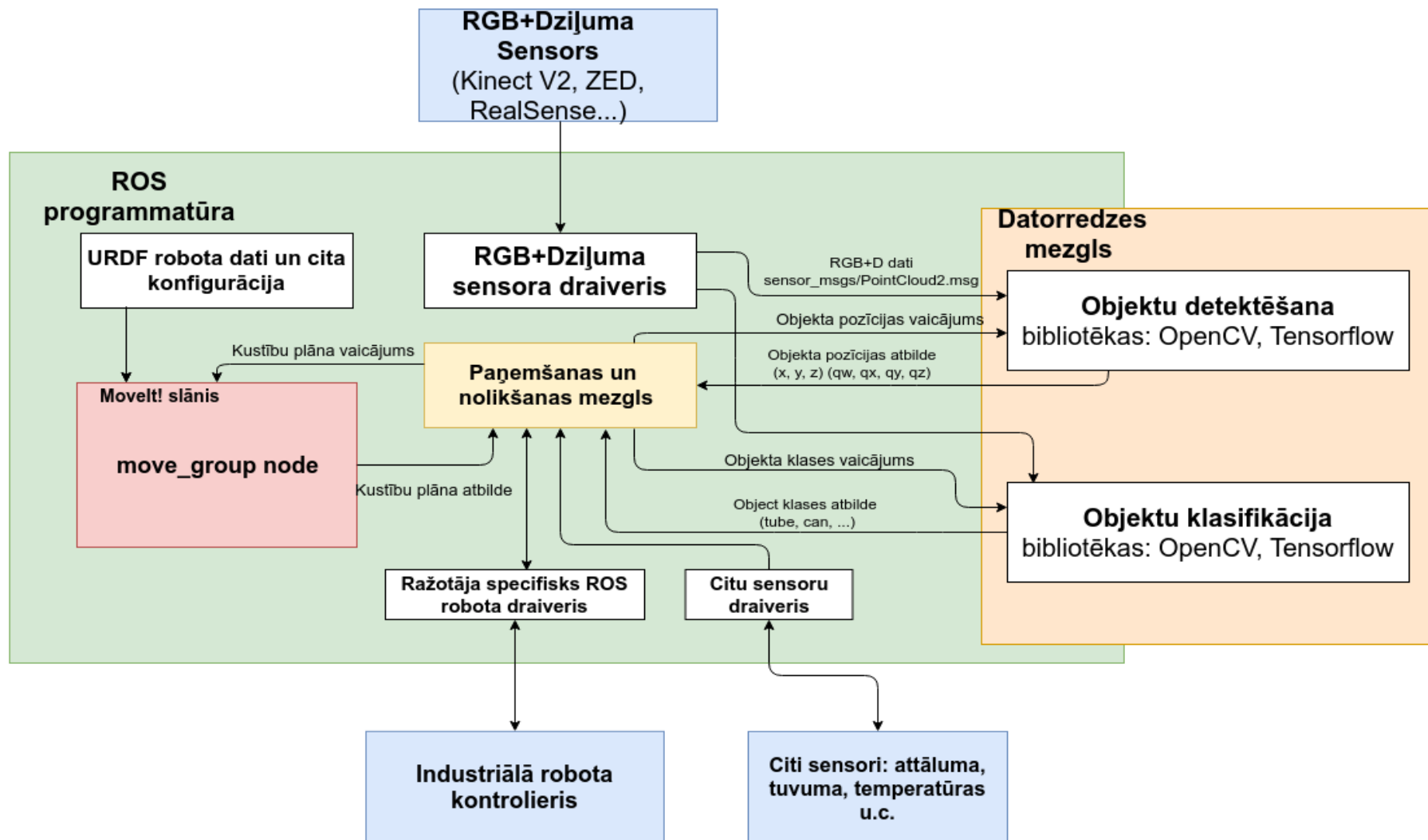
Industriālo robotu atbalsts ROS:

- ABB
- Universal Robots
- Adept
- Comeau (Izstrādes stadijā)
- Kuka (Izstrādes stadijā)
- Motoman
- Robotiq
- u.c

3D sensoru atbalsts ROS:

- Intel RealSense
- Stereolabs ZED
- Microsoft Kinect and PrimeSense 3D sensori
- SICK Visionary-T (TOF camera)
- Orbbec Astra
- Basler ToF ES camera
- DUO3D stereo camera
- Sentis ToF M1000 camera
- u.c

Kopējās sistēmas arhitektūra



Projekta aktivitātes

1. Aktivitāte – Pētījums par datorredzes datu ieguves un apstrādes metodēm un integrēšana ar industriālo robotu komponentēm:

- Pētījums Par 2D un 3D (aktīvā un pasīva) datu ieguves paņēmieniem, to realizācija un novērtēšana. (Kinect, Realsense, ZED)
- Pētījums par datorredzes algoritmiem un metodēm, to piemērošana industriālā robota vadīšanai un precīzai robota izpildei
- Dziļā apmācības – deep learning metodes izpēte un realizācija. Marķētas datu kopas izveide.
- Industriālā robota pieejamo komponentu izpēte un integrēšana ar datorredzes risinājumiem, ieskaitot atbilstoša rūpniecisko pētījumu maketa izveidi.

2. Aktivitāte - Rīku komplekta izstrāde:

- Rīku komplekta izstrāde
- Rīku komplekta testēšana reāliem apstākļiem pietuvinātā vidē

Projekta zinātniskie raksti

1. Janis Arents, Ricards Cacurs, and Modris Greitans, “**Integration of Computervision and Artificial Intelligence Subsystems with Robot Operating System Based Motion Planning for Industrial Robots**”, Automatic Control and Computer Sciences, 2018, Vol. 52, No. 5, pp. 392–401
2. Elvijs Buls, Roberts Kadiķis, Ričards Cacurs, Jānis Ārents. “**Generation of Synthetic Training Data for Object Detection in Piles**”, 2018 The 11th International Conference on Machine Vision, November 1-3, 2018 | Munich, Germany

Paldies par uzmanību!
Jautājumi?

A photograph of several yellow industrial robotic arms with black grippers, arranged in a semi-circle over a black conveyor belt. The background is white.

Industriālo robotu vadība

Jānis Ārents

ROS

ROS ir atklātā pirmkoda programmatūra, kas vienkāršo sarežģītus robotu uzdevumus, izmantojot aparatūras abstrakciju, 3D vizualizācijas rīkus, pakotņu pārvaldību, ierīču draiverus, vienkāršotu procesu komunikāciju un citas iespējas.



ROS-Industrial paplašina ROS iespējas darbam ar industriālajiem Robotiem, un sastāv no dažādām programmatūras pakotnēm, kas atbalsta ROS integrāciju industriālo robotu vadībā.

ROS -Industrial atbalstītie robotu ražotāji

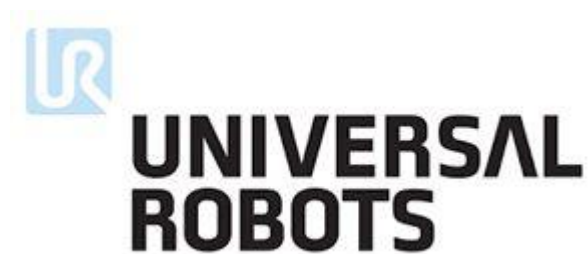


KUKA

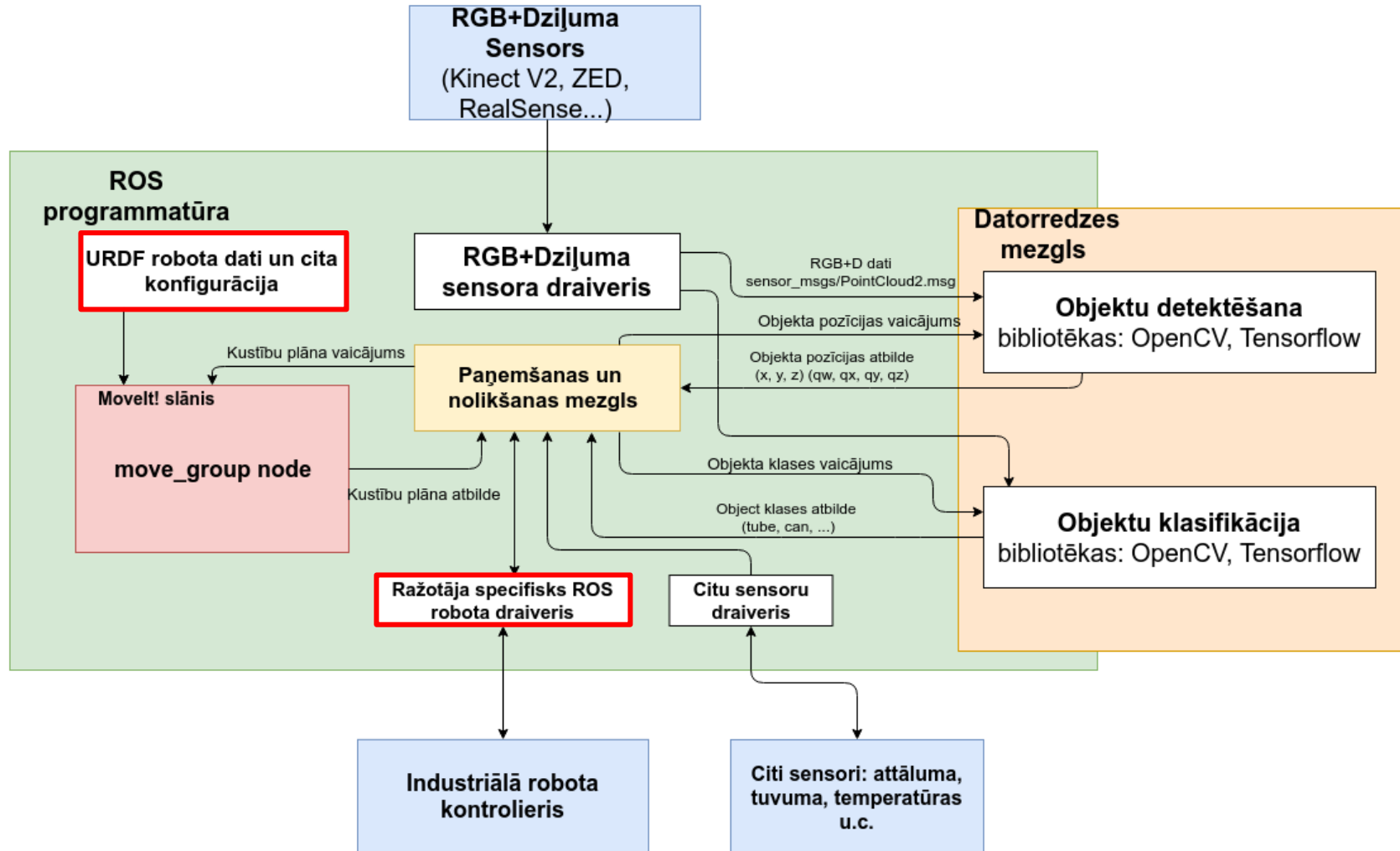
FANUC



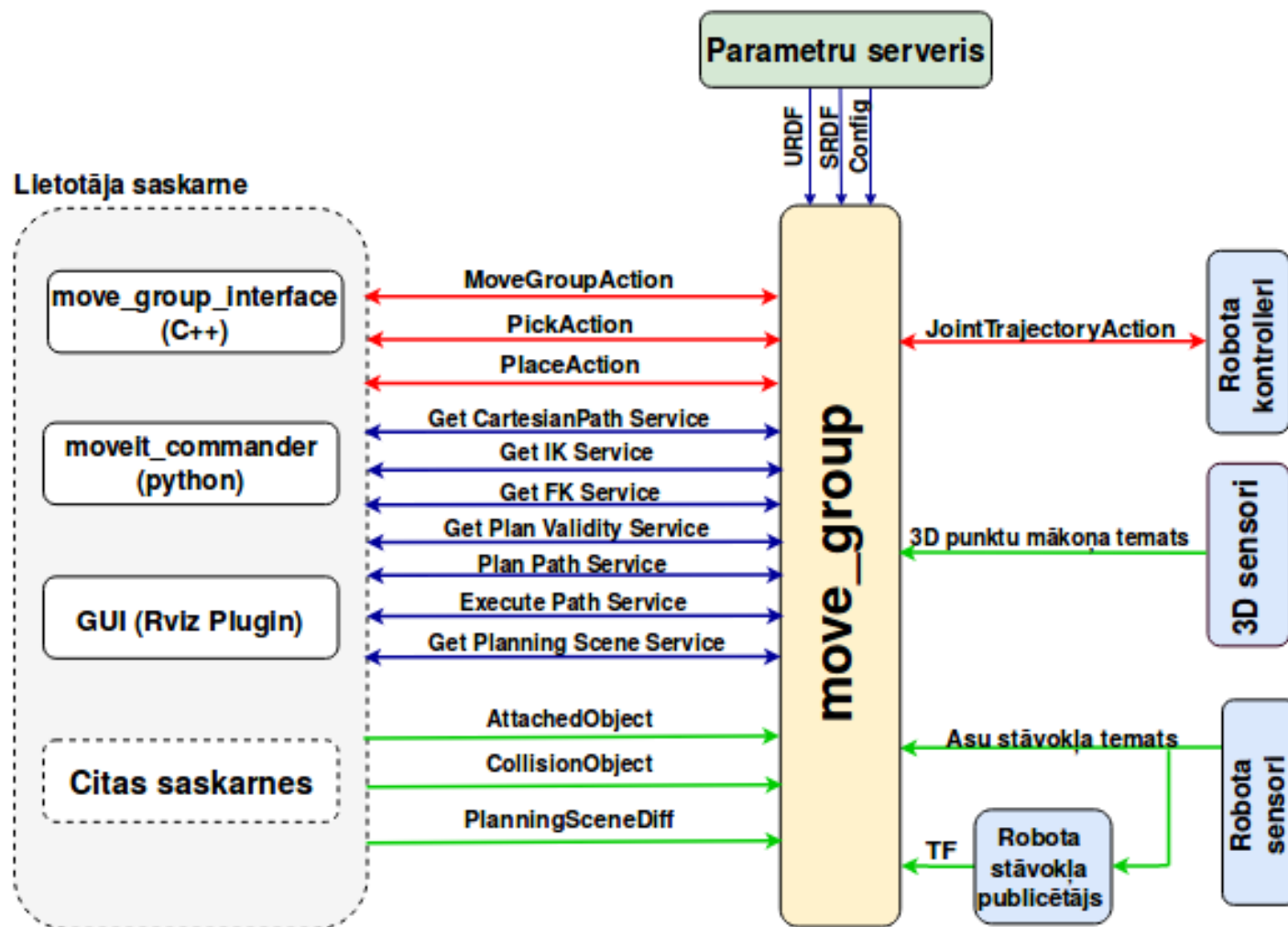
STÄUBLI



Sistēmas arhitektūra

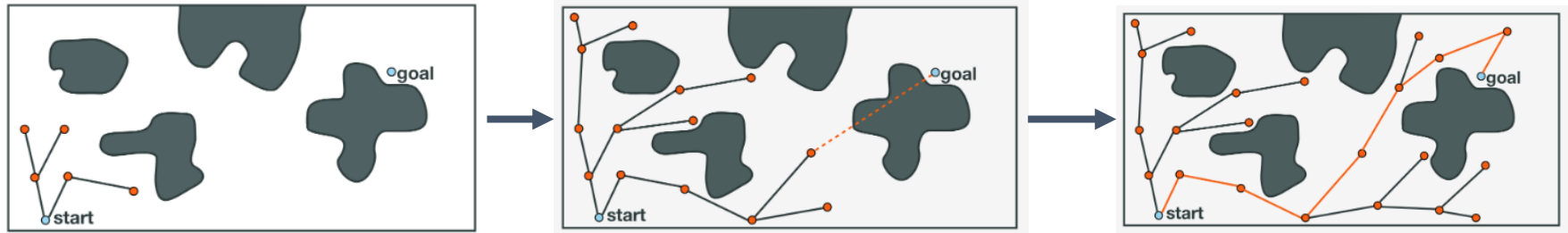


MoveIt! programmatūra

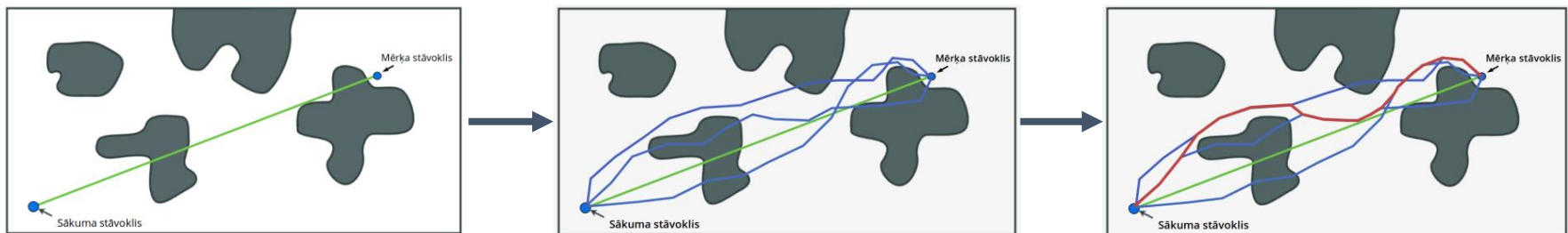


Kustību plānošana

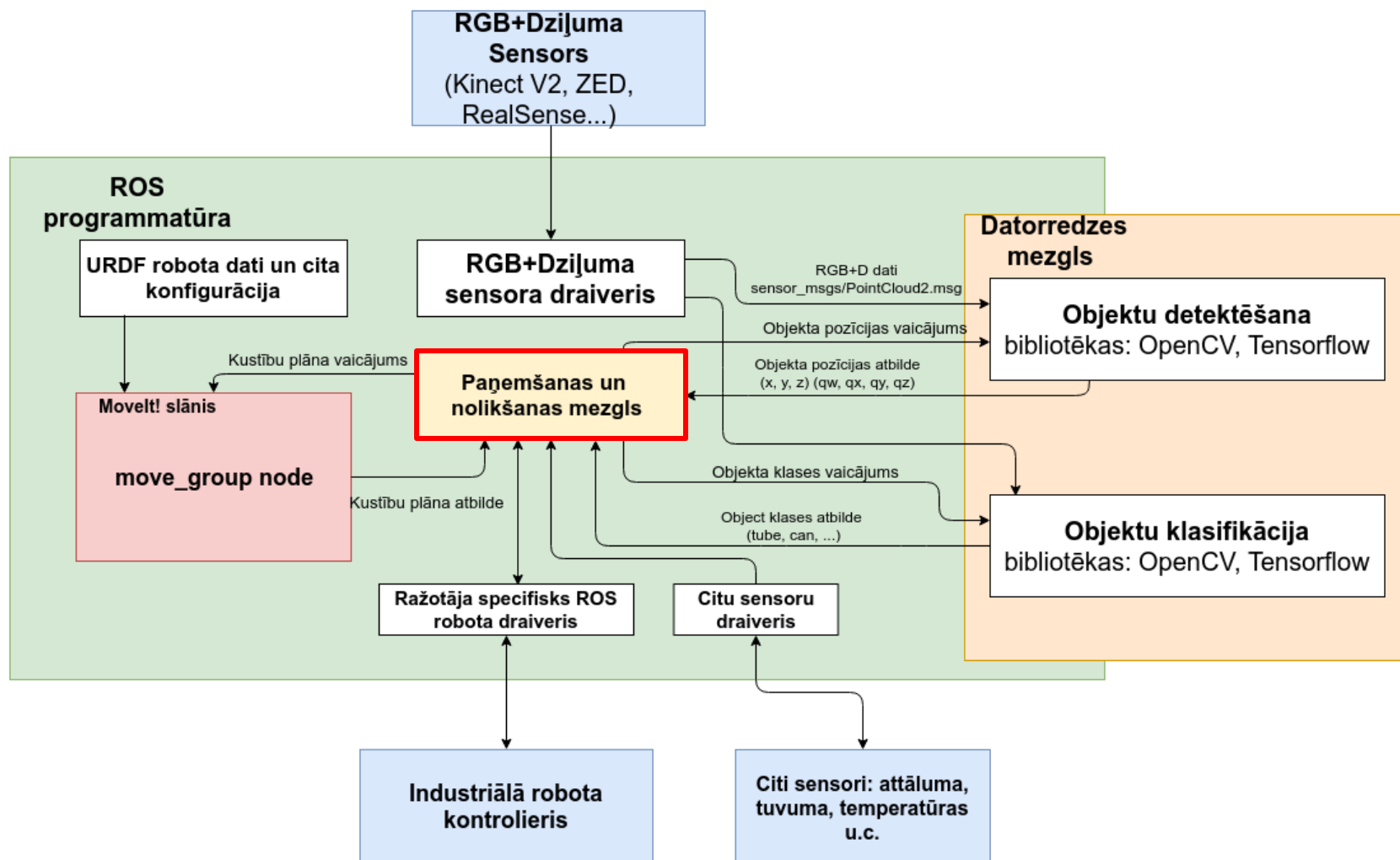
Atvērtā kustību plānošanas bibliotēka – OMPL



Stohastiska trajektorijas optimizācija kustību plānošanai - STOMP

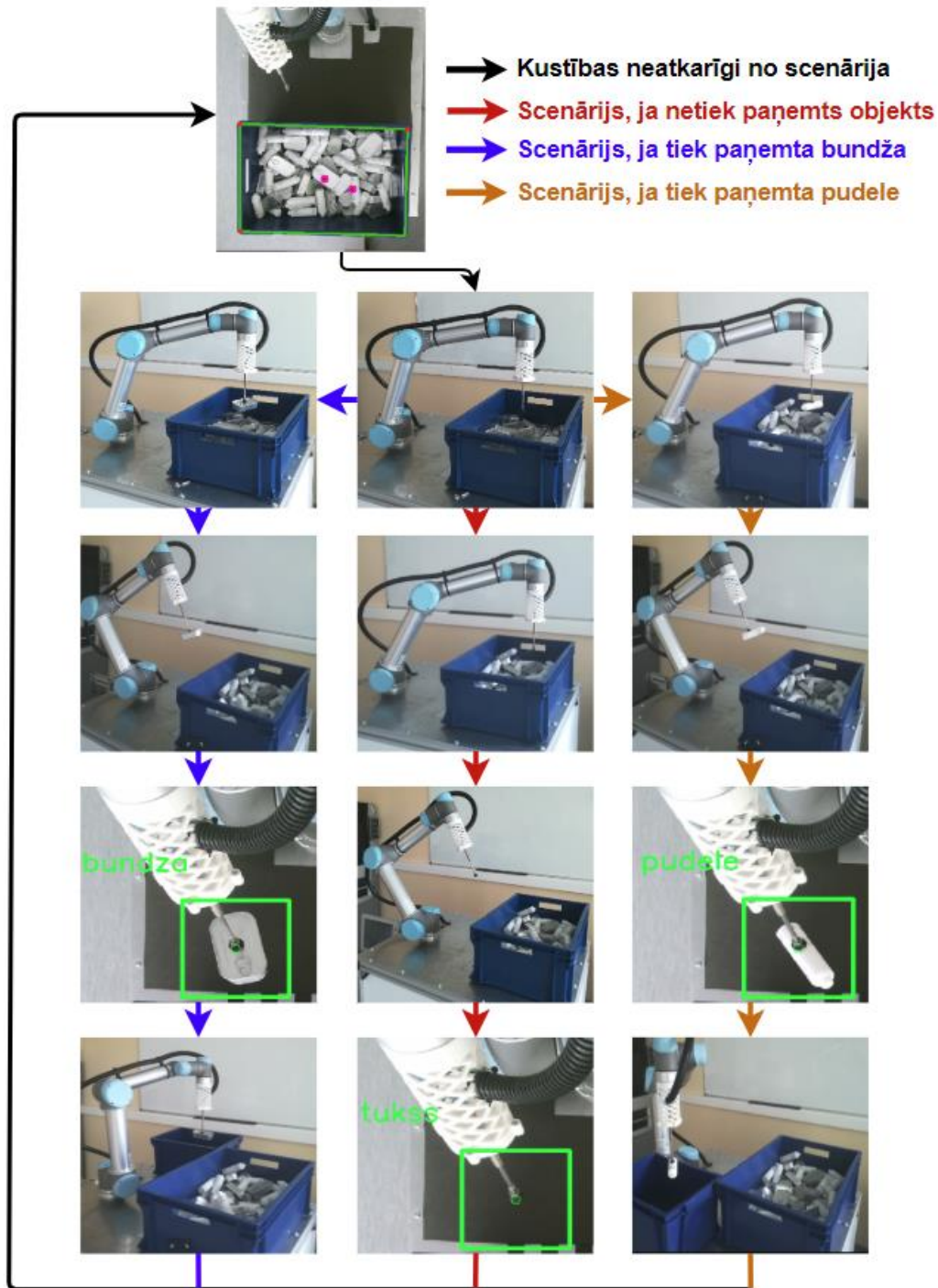


Pick & place uzdevums



To, kur robotam jāpārvietojas
nosaka datorredzes programmatūra

Objekta pozīcija kastē ir mainīga,
kas liedz iepriekš definēt
pārvietošanās ceļu, tāpēc tas, kā
robots pārvietosies tiek aprēķināts
pēc objekta koordinātu saņemšanas



Sistēmas veikspēja

- Lineāru kustību ģenerēšana objekta paņemšanai - ~200ms



- Lineāru kustību ģenerēšana objekta pārvietošanai klasifikācijas pozīcijā - ~150ms



Sistēmas veikspēja

- Kustību plānošana objekta pārvietošanai pēc klasifikācijas rezultāta - **~30ms**



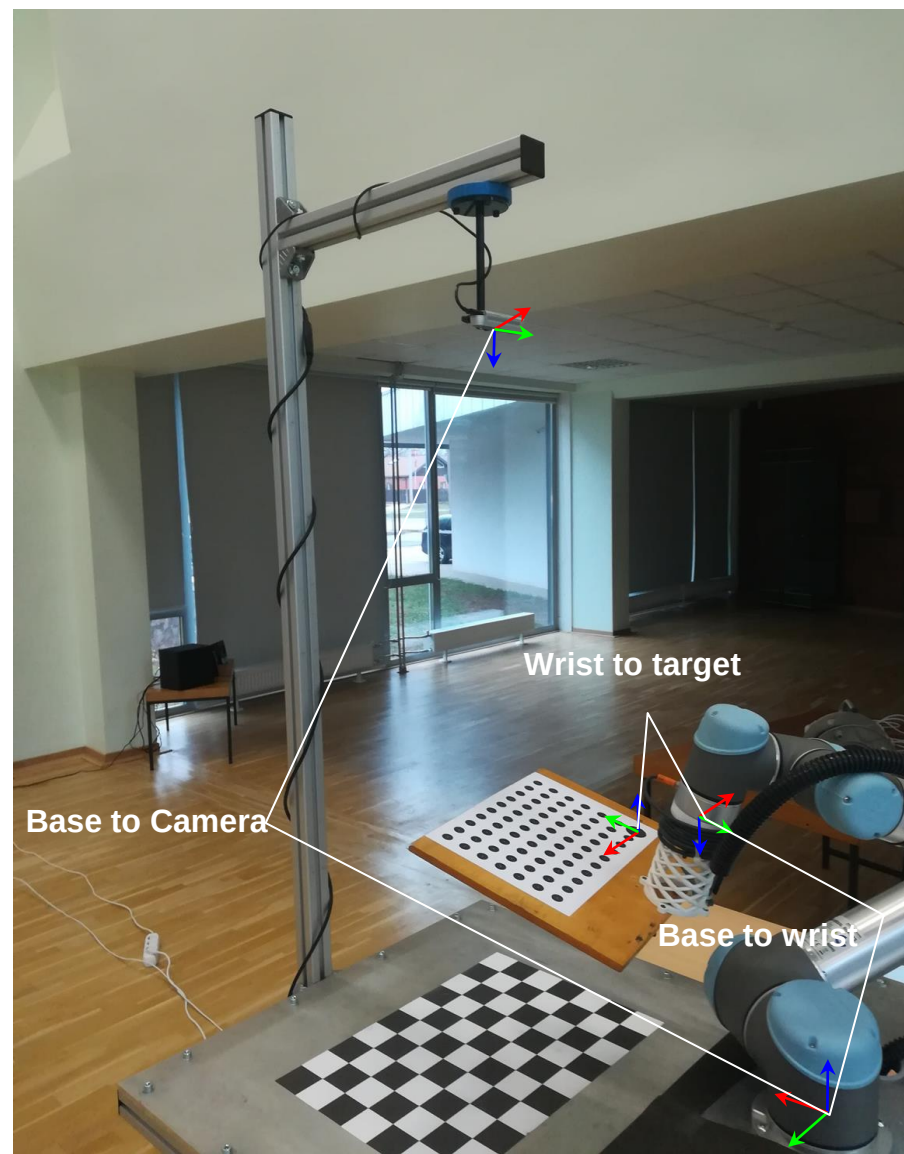
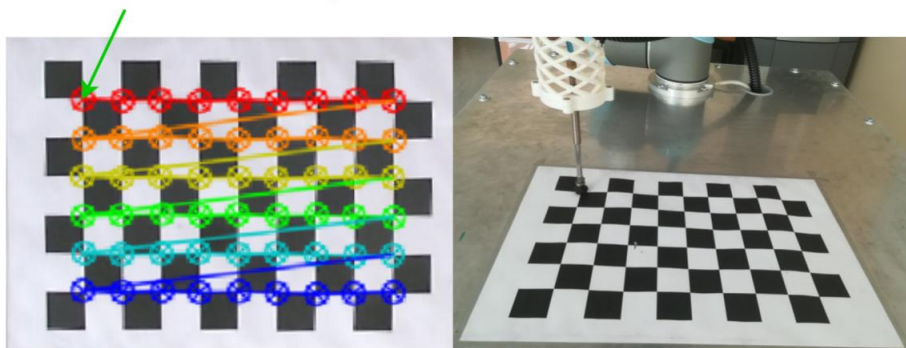
- Objektu detektēšanas laiks - **max ~1500ms , avg ~400ms**
- Objektu klasificēšanas laiks - **~ 5ms**

Robots ↔ kamera kalibrācija

Robotam un kamerai jādarbojas vienotā koordinātu atskaites sistēmā

Nepieciešams noskaidrot kameras atrašanās vietu un orientāciju attiecībā pret robota pamatni.

Koordinātu sistēmas atskaites sākpunkts

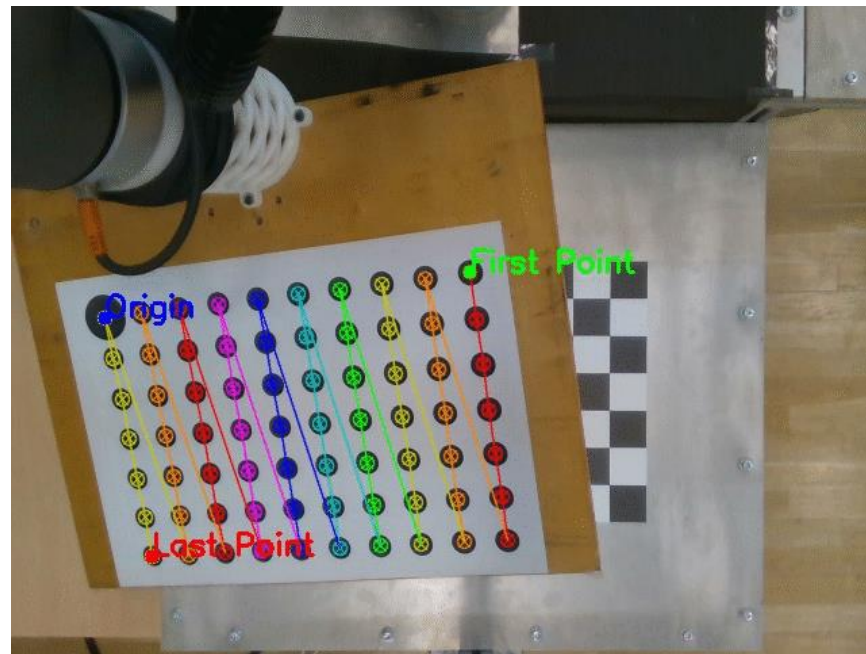
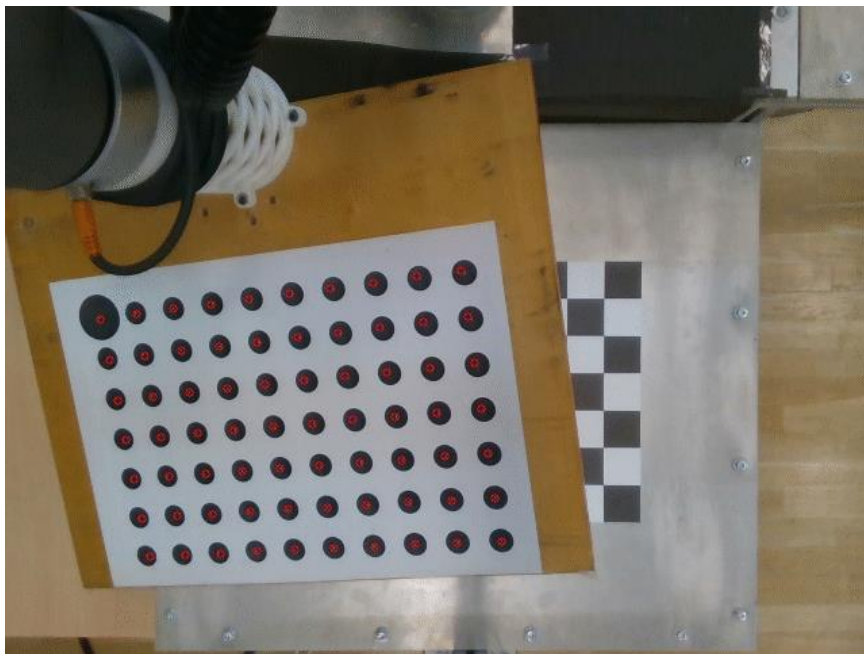


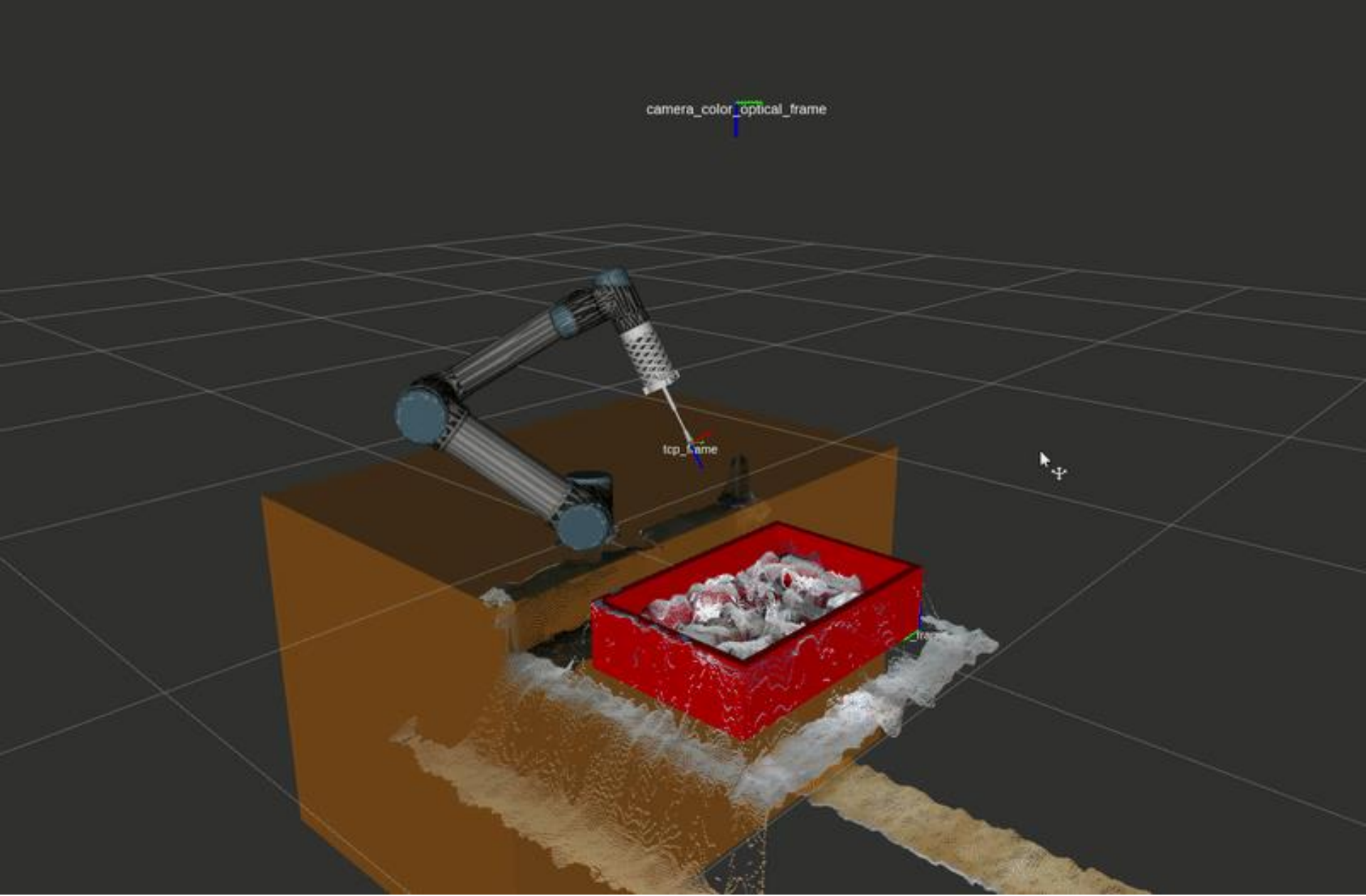
Robots ↔ kamera kalibrācija

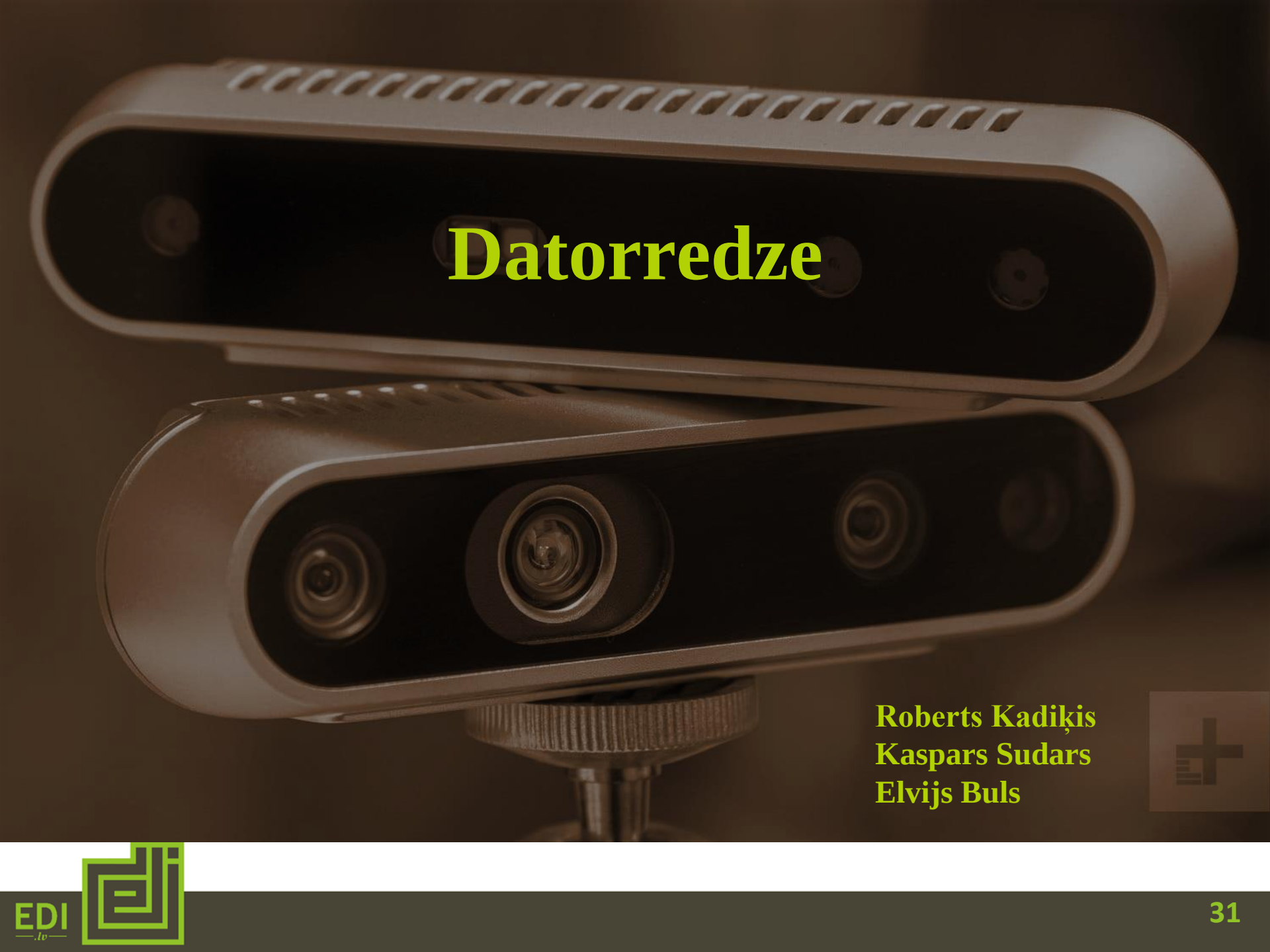
Ieejas dati -

- **base to wrist** transformācijas minējums,
- **camera to base** minējums,
- kameras iekšējie kalibrācijas dati,
- attēli ar redzamu kalibrēšanas rakstu,
- attiecīgā **wrist** pozīcija pie uzņemtā attēla
- kalibrācijas raksta parametri

Izejas dati - precīza $\pm 1\text{mm}$ transformācija **base to camera**, **wrist to target**







Datorredze

**Roberts Kadiķis
Kaspars Sudars
Elvijs Buls**

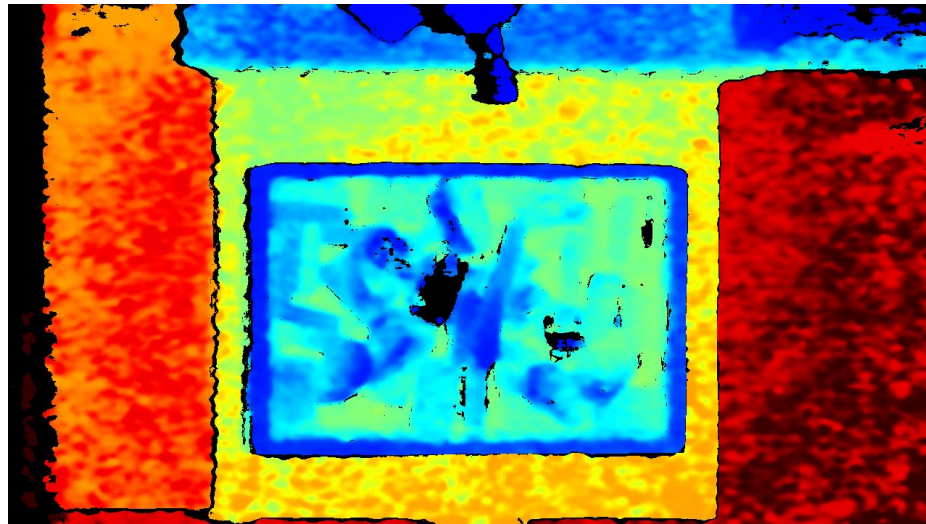


Uzdevums

1. Noteikt objektu kastes malas
2. Lokalizēt robotam paņemamus objektus haotiski sabērtā kaudzē
3. Klasificēt paņemtos objektus



Kastes atrašana



Taisnstūra meklēšana dziļuma kartē:

- sliekšņošana ar krītošu sliekšni
- kontūru atrašana un aizpildīšana
- kontūru *solidity* parametra noteikšana

$$Solidity = \frac{Contour\ Area}{Convex\ Hull\ Area}$$



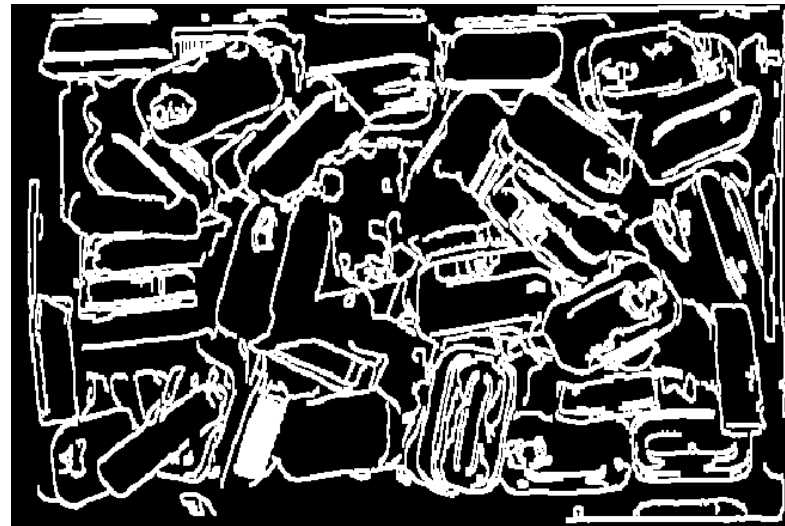
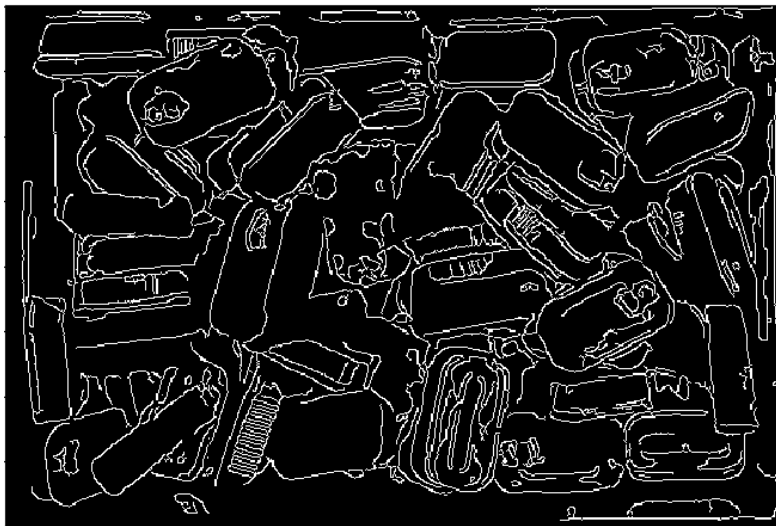
Attēlu segmentēšana

Izaicinājumi:

- Objektu kastē var būt dažādi izvietoti ar jebkādu orientāciju un rotāciju
- Paņemams objekts un tā fons ir ļoti līdzīgi

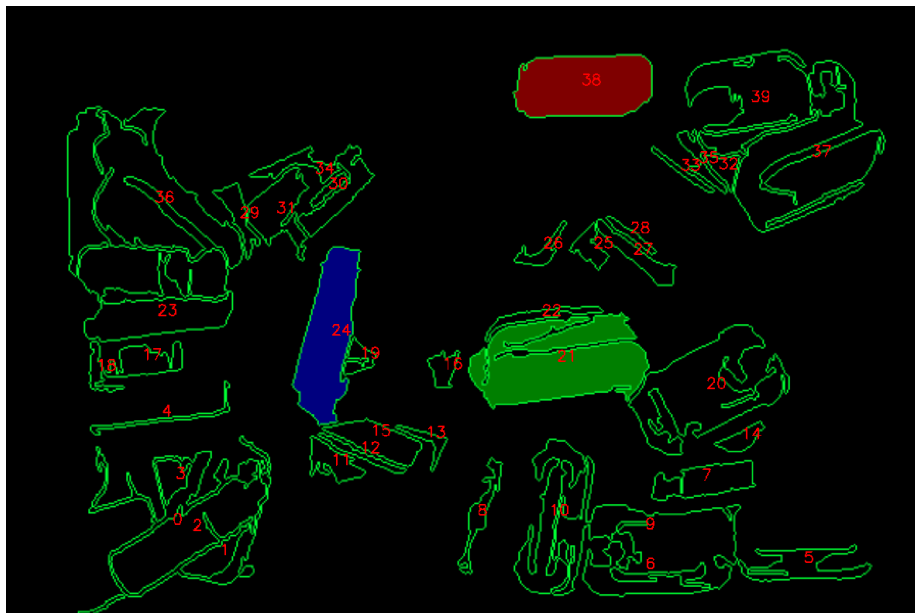
Lietotie segmentēšanas paņēmieni:

- Canny + paplašināšana (dilation)
- Watershed
- Selective Search [<https://doi.org/10.1007/s11263-013-0620-5>]

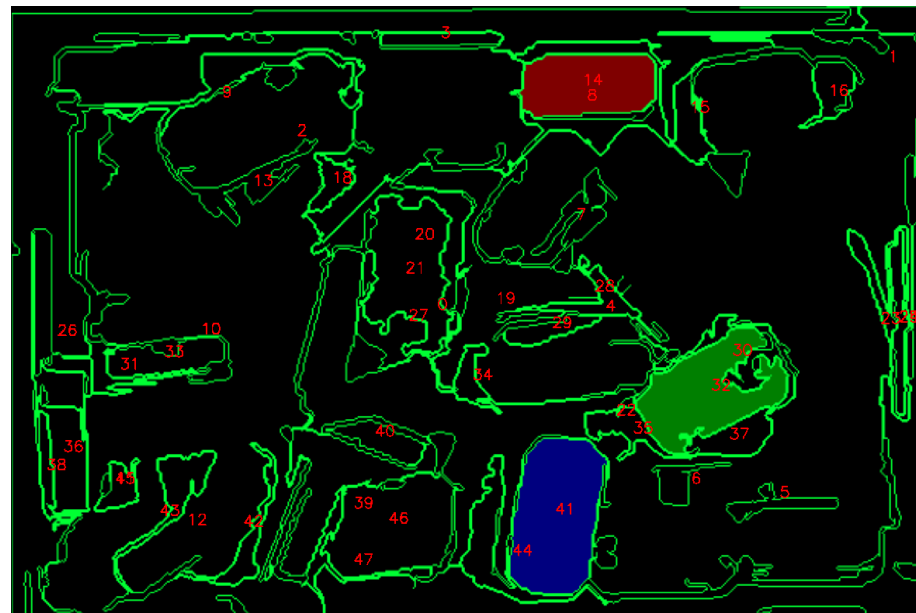


Kandidātu vērtēšana

Canny robežas



Selective Search



Paņemamu objektu kandidāti tiek vērtēti pēc:

- izmēra
- formas (atbilstība objektiem, simetrija)
- dziļuma mediānas un variācijas
- apkārtnes dziļuma

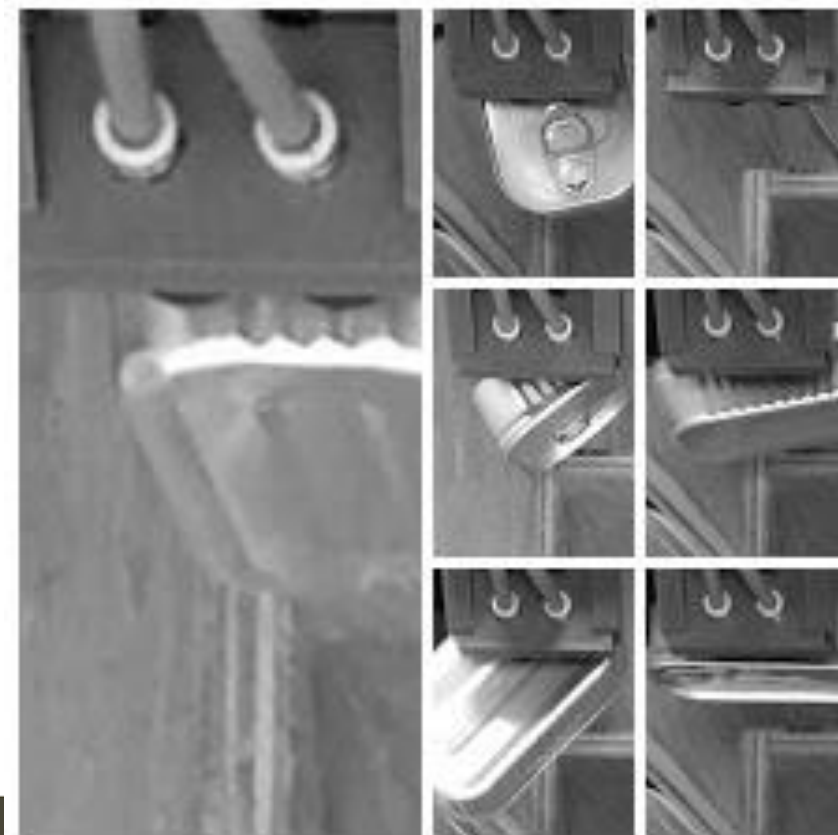


Ojektu klasificēšana

1. Uzdevums ir izstrādāt programmatūras moduli, kas veic robota paņemtā objekta atpazīšanu, lai robots varētu veikt tālākās manipulācijas ar satverto objektu.
2. Uzdevuma risinājums ir izstrādāts, balstot to uz apmācītu deep learning modeli. Tiek piedāvāts uz CNN arhitektūras un uzraudzītās apmācības balstīts risinājums.

Atpazīstamo objektu satveršanas
gadījumu piemēri

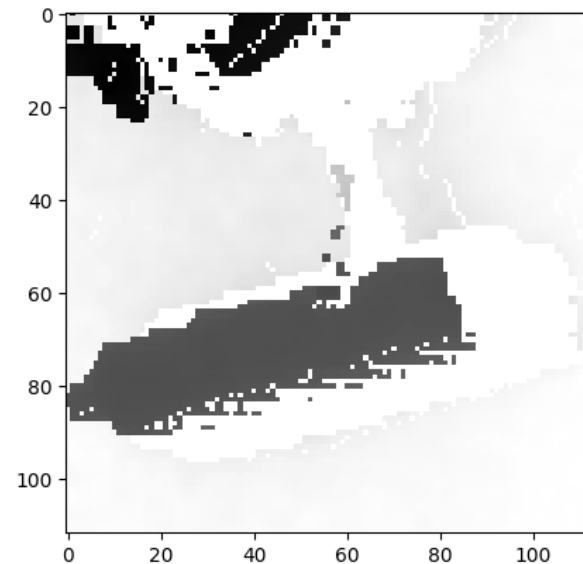
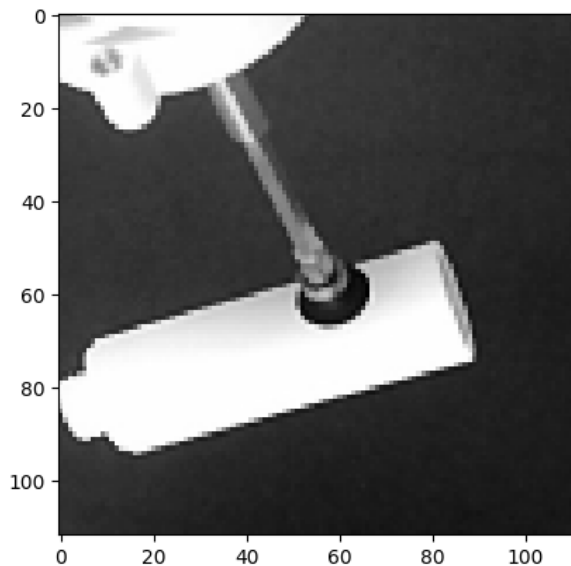
Atpazīšanas klašu skaits 3-7
(principā nav noteikts)



Ojektu klasificēšana

Veiktspējas uzlabošanai vispirms no ZED/Kinect kameras attēla tiek izgriezts interesējošais reģions ar izmēriem (112, 112, 2)

Šeit attēlots interesējošā apgabala piemērs (melnbalts attēls un dziļuma attēls):



Ojektu klasificēšana

Konvolūcijas neironu tīkla CNN arhitektūra:

[1, 112, 112, 2] attēls -> conv1 [11, 11, 2, 64] -> sigmoid -> dati [1, 26, 26, 64] ->
-> maxpool1 [1, 3, 3, 1] -> dati [1, 12, 12, 64] ->
-> conv2 [5, 5, 64, 192] -> sigmoid -> dati [1, 12, 12, 192] ->
-> maxpool2 [1, 3, 3, 1] -> dati [1, 5, 5, 192] ->
-> conv3 [3, 3, 192, 256] -> sigmoid -> dati [1, 5, 5, 256] ->
-> maxpool3 [1, 5, 5, 1] -> dati [1, 1, 1, 256] -> softmax -> atbilde [1, 7]

Balstoties uz šo CNN arhitektūru un uzraudzīto apmācību, projekta laikā tika izstrādātas 5 šādas atpazīšanas sistēmas.

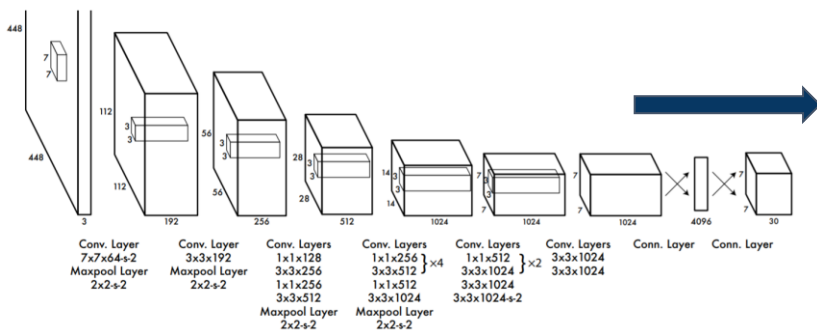
Pietika ar ~300 attēlu apmācību kopu, lai sistēma varētu veiksmīgi strādāt.

Apmācības kopa pret validācijas kopu aptuveni 9:1

Klasifikācijas laiks uz CPU vienam attēlam bija ~0.2 s

Detektēšana ar CNN

- **Lokalizēšanas un klasificēšanas uzdevumus iespējams apvienot vienā solī, padarot to par objektu detektēšanas uzdevumu**
- **YOLO ir *state-of-the-art* objektu detektēšanas modelis ar CNN arhitektūru (Convolutional Neural Network)**



YOLO - You Only Look Once

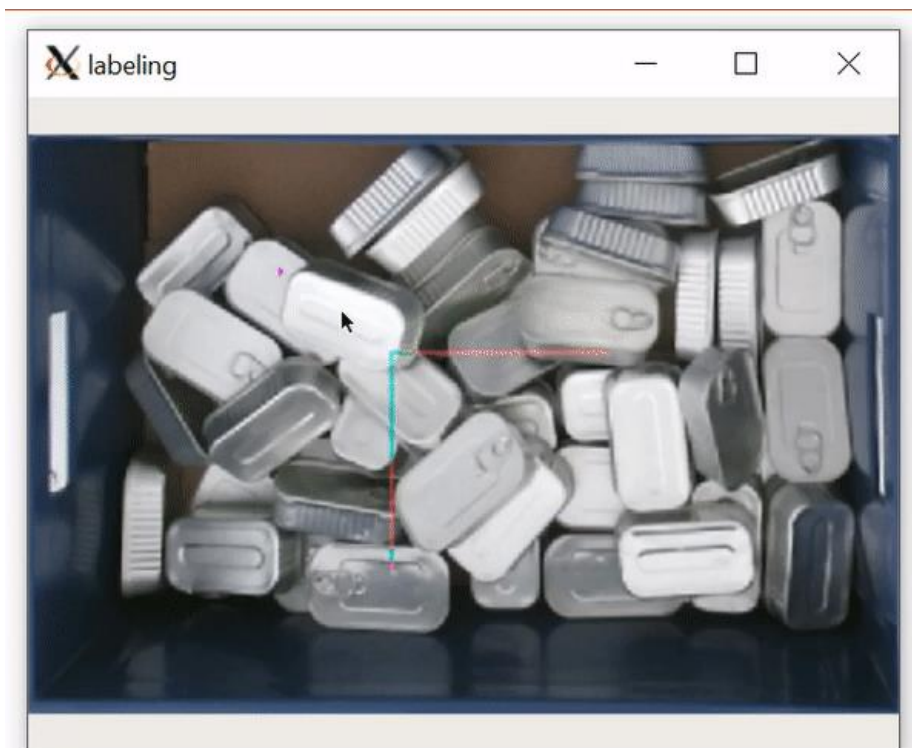
Redmon, Joseph, and Ali Farhadi.

"YOLO9000: better, faster, stronger." *arXiv preprint* (2017).

bundža
pudele

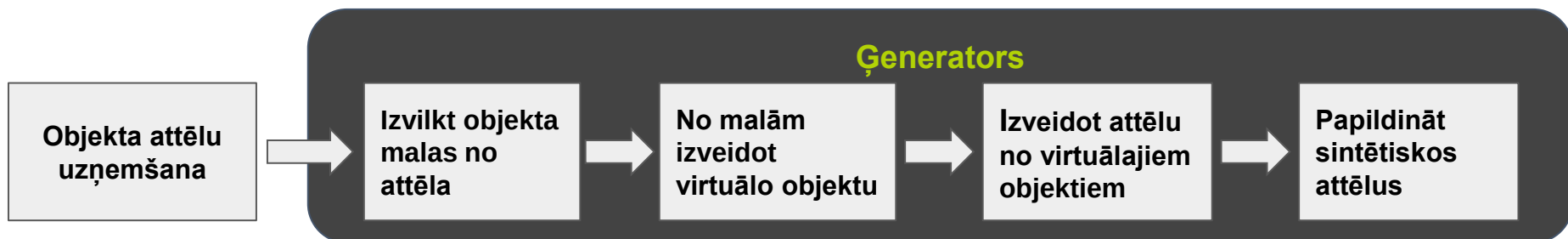
Datu marķēšana

- Objektu detektēšanas uzdevumā, dziļo neironu tīklu apmacīšanai nepieciešamas lielas marķētu datu kopas, kurās iekļauti daudzi iespējamie objektu izvietojuma un izskata varianti
- Projektā tika izstrādāta grafiskā lietotāja saskarne, kas atvieglo manuālu datu marķēšanu, tomēr, 6000 attēlu marķēšana vienam cilvēkam var aizņemt pat mēnesi



Apmācības datu ģenerēšana

- Sintētisku attēlu ģenerators aizstāj manuālu datu marķēšanu ar ātru un vieglu datu ieguves veidu
- Cilvēkam ir nepieciešams iegūt tikai objekta sānu attēlus



Ieejas attēli

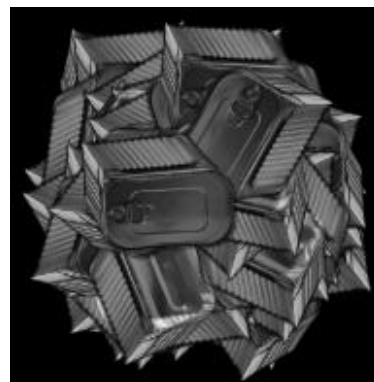


1. Izmēra izmaiņas
2. Gaussa izplūdums
3. Sliedzes
4. Lielākais kontūrs
5. Izplešanās
6. Erozija

Virtuālais objekts

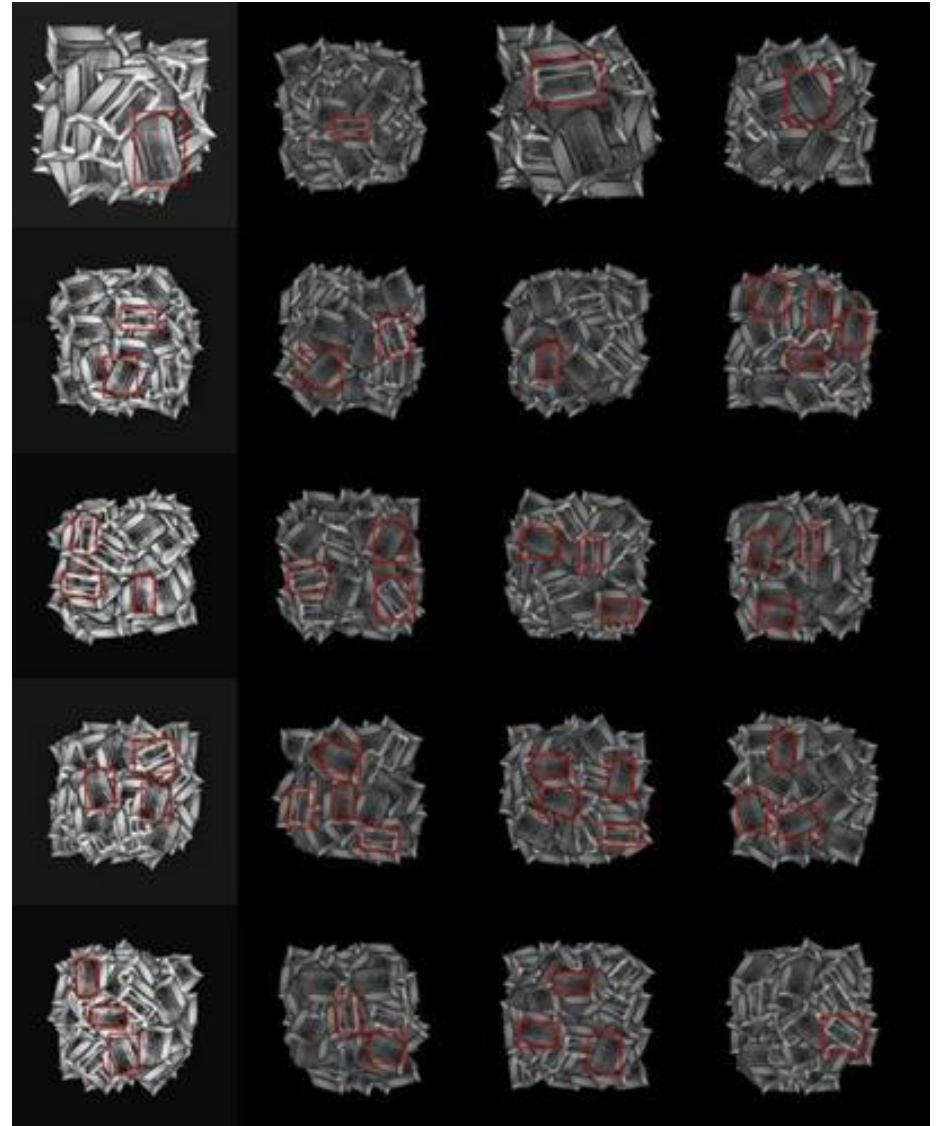
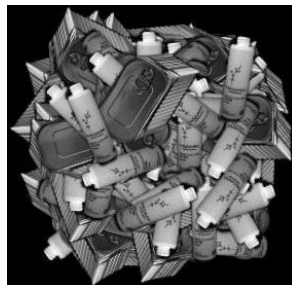


Sintētiskā kaudze



- Nejaušas modifikācijas:
1. spilgtums
 2. kontrasts
 3. izplūdums

Ģenerētie attēli



Rezultāti

Trīs manuāli marķētas testa kopas, katrā 500 attēli

Katram testam YOLO modelis trenēts ar 6000 sintētiskiem attēliem

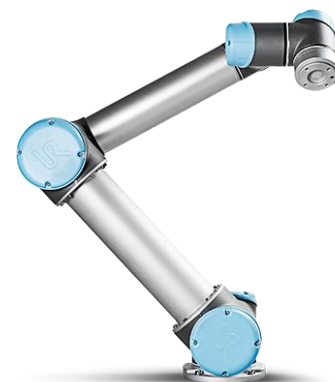


Objektis	Manuāli marķēto objektu skaits	Detektēto objektu skaits	Pareizi detektēto objektu skaits	Pareizā pirmā izvēle	Paņemšanas precizitāte
Bundžas	5474	2632	1125	429	85.8%
Pudeles	6285	5967	680	356	71.2 %
Mix	9250	7419	2637	494	98.8 %

Datorredze - secinājumi

- Izveidota robota rokai paņemamu objektu lokalizācijas un klasifikācijas sistēma
- Lai šo sistēmu darbinātu ar jauna veida objektiem:
 - Lokalizācijas programmā manuāli jāuzstāda jauniem objektiem atbilstošus parametrus, sarežģītākos gadījumos jāpārskata segmentēšanas paņēmieni
 - Klasifikācijas modelim jāveido jauna marķētu datu kopa - jo vairāk dažādu objektu, jo lielāka kopa būs nepieciešama
- YOLO balstītā sistēma un datu ģenerēšanas pieeja potenciāli spēj būtiski samazināt manuālas marķēšanas un algoritmu pielāgošanas nepieciešamību jaunu objektu gadījumā, tomēr precizitātes uzlabošanai vēl nepieciešami pētījumi reālistiskāku datu ģenerēšanai

Elvijs Buls, Roberts Kadiķis, Ričards Cacurs, Jānis Ārents, “Generation of Synthetic Training Data for Object Detection in Piles” 2018 The 11th International Conference on Machine Vision, November 1-3, 2018 | Munich, Germany





Viedie sensori

- ❖ Uldis Grunde
- Kristaps Greitāns
- Emīlija Koļago
- Dainis Žagars
- Dāvis D

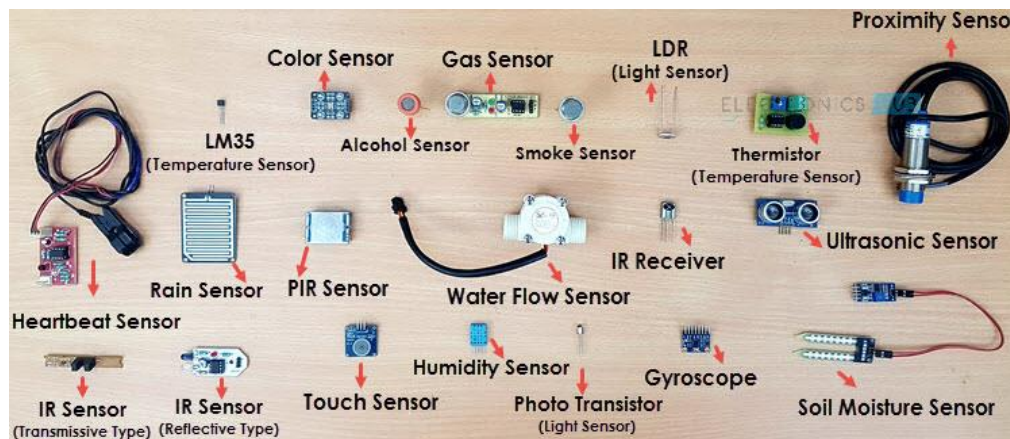
Darba mērķis

- ❖ **Izpētīt un izveidot sensoru mezglus, kas spētu dot papildus informāciju par objekta, ar kuru manipulē robots, īpašībām**

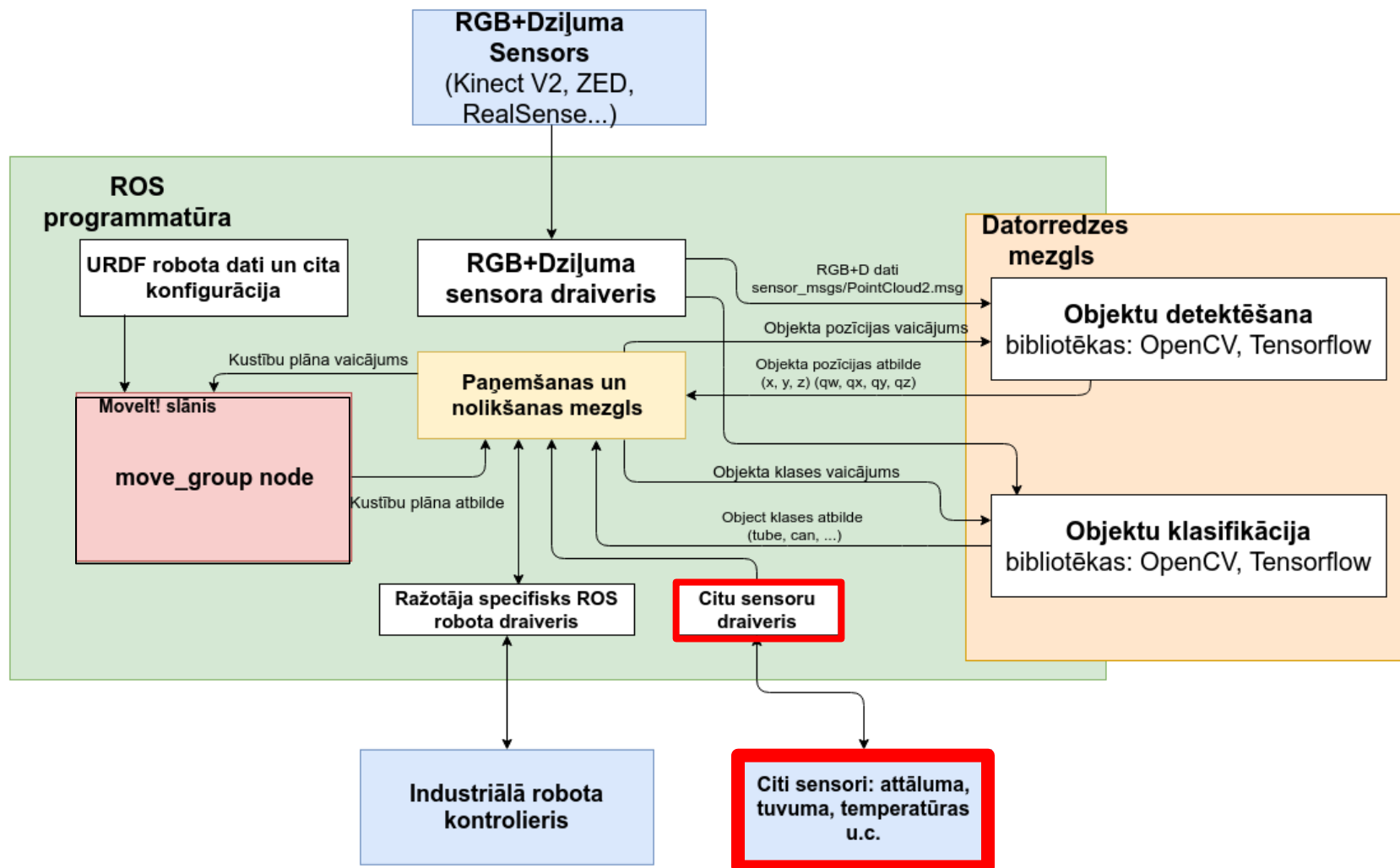


Nepieciešamība un pielietojums

- ❖ Nepieciešami kā papildinājums datorredzes risinājumiem - nosakot, piemēram, objekta temperatūru, attālumu, krāsu u.c.
- ❖ Var tikt izmantoti neatkarīgi no datorredzes
- ❖ Iebūvējami



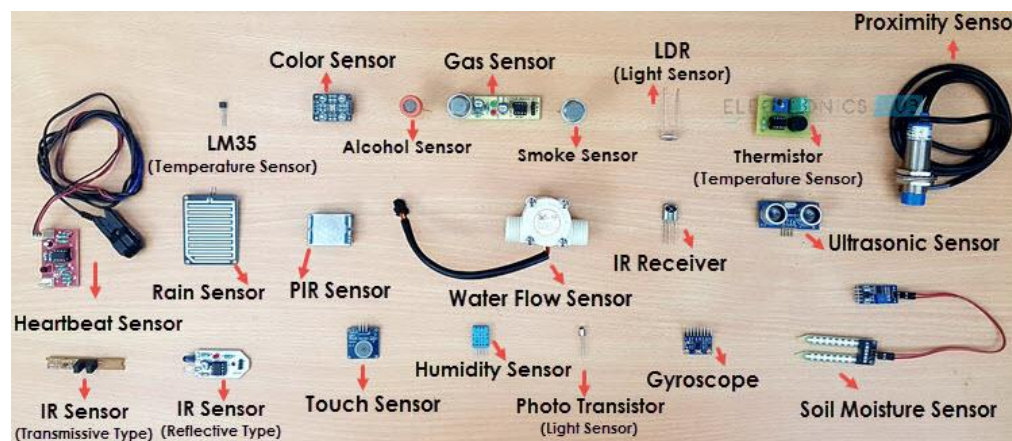
Darba saturs



Viedie sensori robotiem

❖ Viedo sensoru pamatīpašības:

- objekta īpašību attāli mērījumi
- precīzi
- vienkārša saskarne
- robusti
- ātrdarbīgi

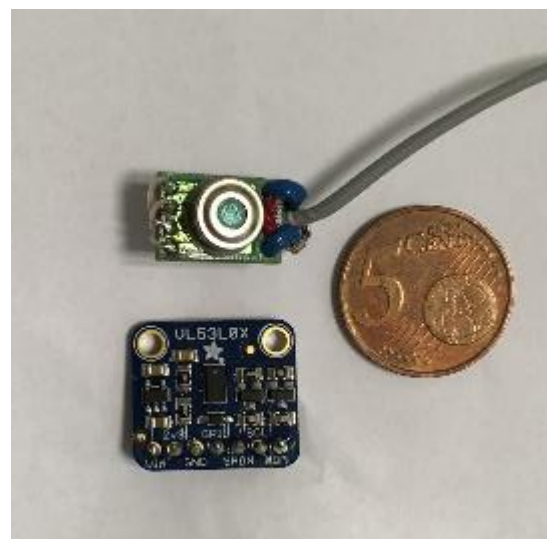
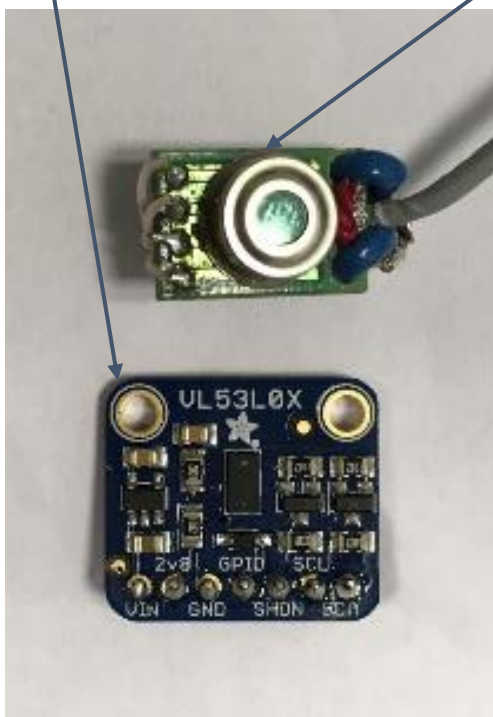


Attālo mērījumu sensori

Attāluma sensors
VL53L0X

Temperatūras IR
sensors MLX90614

5 centi - 21 mm



Viedo sensoru parametri

Attāluma sensora VL53L0X parametri

Diapazons

Attālums 20 - 2000 mm

Precizitāte

$\pm 3\%$ - $\pm 6\%$

Nolasīšanas frekvence

10 Hz

Skata lauks

25°

Temperatūras IR sensora MLX90614 parametri

Diapazons

Vides temperatūra -40°C - $+125^\circ\text{C}$

Objekta temperatūra -70°C - $+380^\circ\text{C}$

Precizitāte

$\pm 0,2$ (± 0.5) $^\circ\text{C}$

Nolasīšanas frekvence

10 Hz

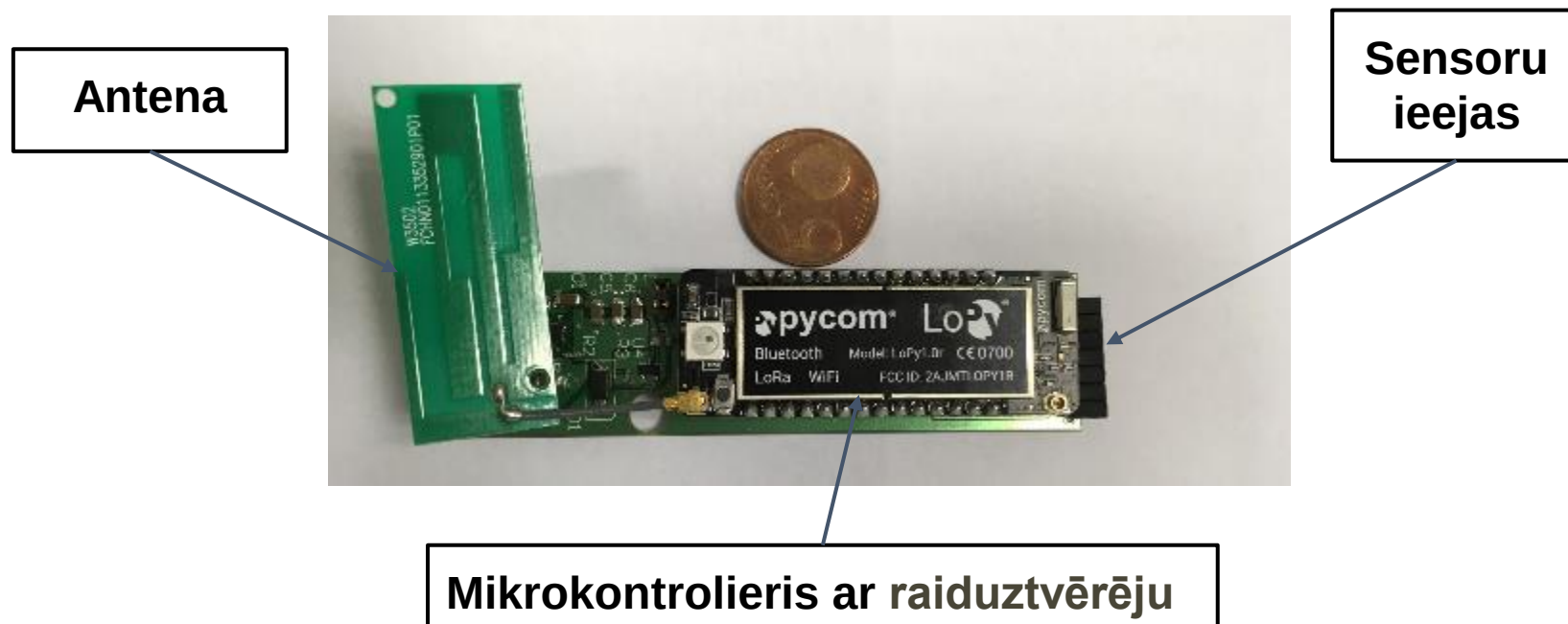
Skata lauks

60°



Viedo sensoru kopmezglis

- ❖ Ievietots robotā
- ❖ Mikrokontrolieris ESP32 ar 869,3 MHz raiduztvērēju
- ❖ I2C saskarne
- ❖ Savāc informāciju no sensoriem
- ❖ Noraida informāciju uz ROS



Izmantotais datu pārraides risinājums

- ❖ **Datu pārraidei izmanto radiopārraides protokolu LoRa, frekvence 869,3MHz, jauda 3mW**
- ❖ **Savienojumu starp robotu un vadības datoru realizē 2 ESP32 ierīces ar LoRa raiduztvērējiem:**
 - **viedo sensoru kopmezgls, kas ievietots robotā**
 - **ESP32 ierīce ar USB saskarni, kas pieslēgta robota vadības sistēmai**

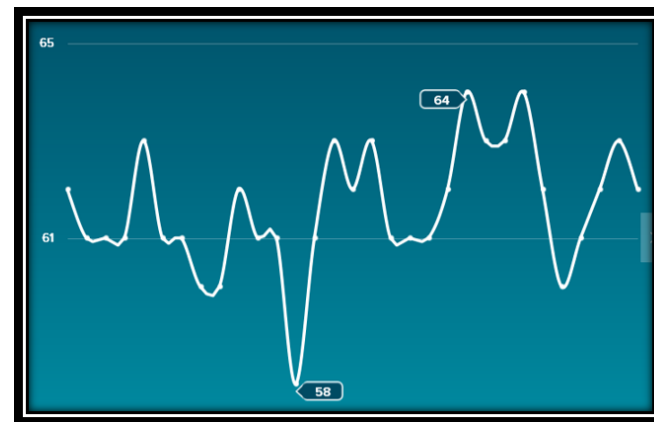


Pielietojums

- ❖ Tika izmēģināti un pielietoti robota darbībās abi sensori - gan temperatūras, gan attāluma
- ❖ Attāluma sensors izmēģinājumos uzrādīja stabilu darbību un labu precizitāti
- ❖ Projekta uzdevumu risināšanai piemērotāks izrādījās temperatūras sensors, kas tika pielietots robota manipulācijās ar objektiem, kam ir atšķirīga temperatūra

Viedie sensori - secinājumi

- ❖ Lai iegūtu precīzas objekta parametru vērtības viedie sensori ir jānovieto iespējami tuvu objektam
- ❖ Jāparedz un jāņem vērā iespējama apkārtējās vides iedarbība - temperatūras izmaiņas, apgaismojums u.c.
- ❖ Optimālais risinājums būtu viedo sensoru iebūvēšana robota manipulatorā



Datorredze iegultās sistēmās

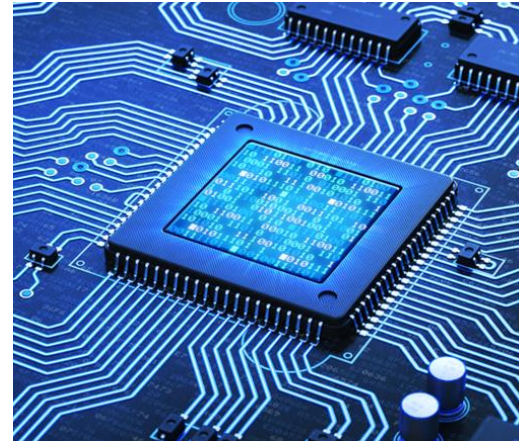
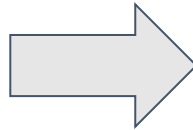
Andis Bizuns

Daniels Jānis Justs

Toms Stūrmanis

Darba mērķis

- Izpētīt, kā pārnest industriālā robota vadību vai tam paredzētos uzdevumus (attēla uzņemšana un objektu atpazīšana un lokalizācija) uz heterogēnu iegultu sistēmu balstītu uz programmējamiem loģikas masīviem

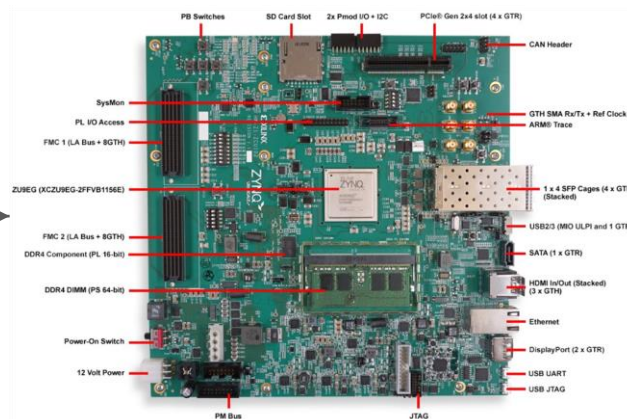


Sistēmas arhitektūra



Intel RealSense
kamera

USB

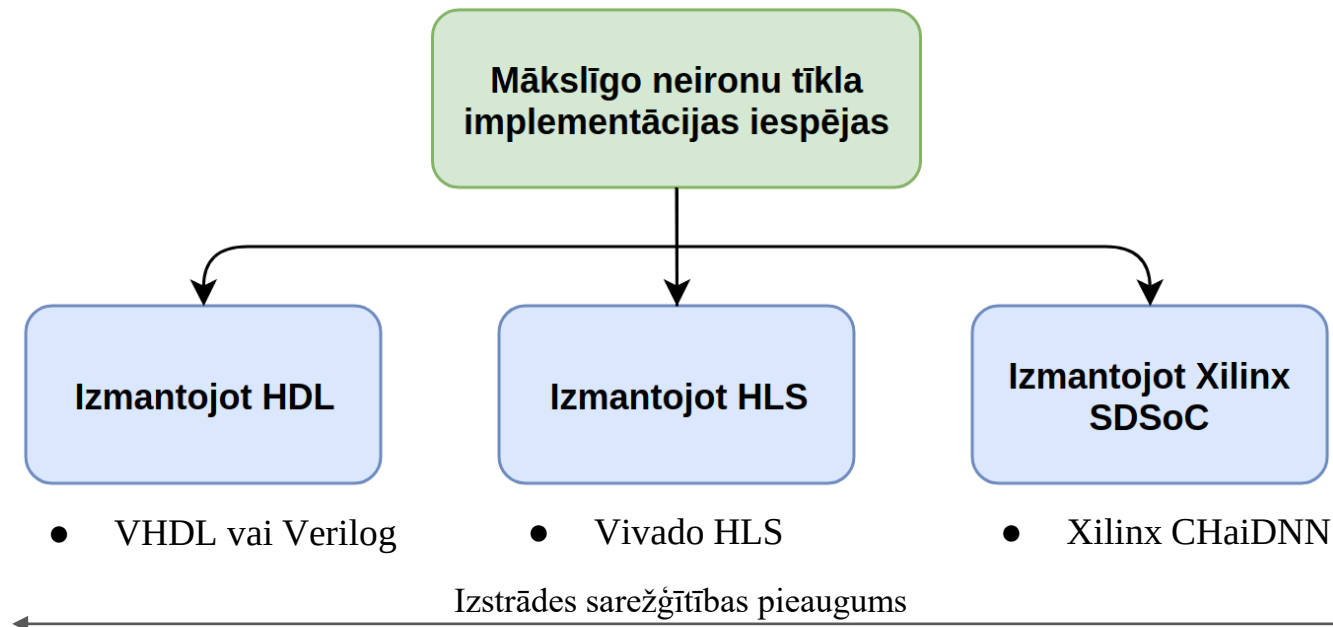


Uz ROS

Xilinx Zynq UltraScale+ MPSoC
ZCU102 izstrādes plate

- ★ SoC (*System-on-a-Chip*) - iegulta sistēma
- ★ FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) - programmējamais loģikas masīvs (PLM)

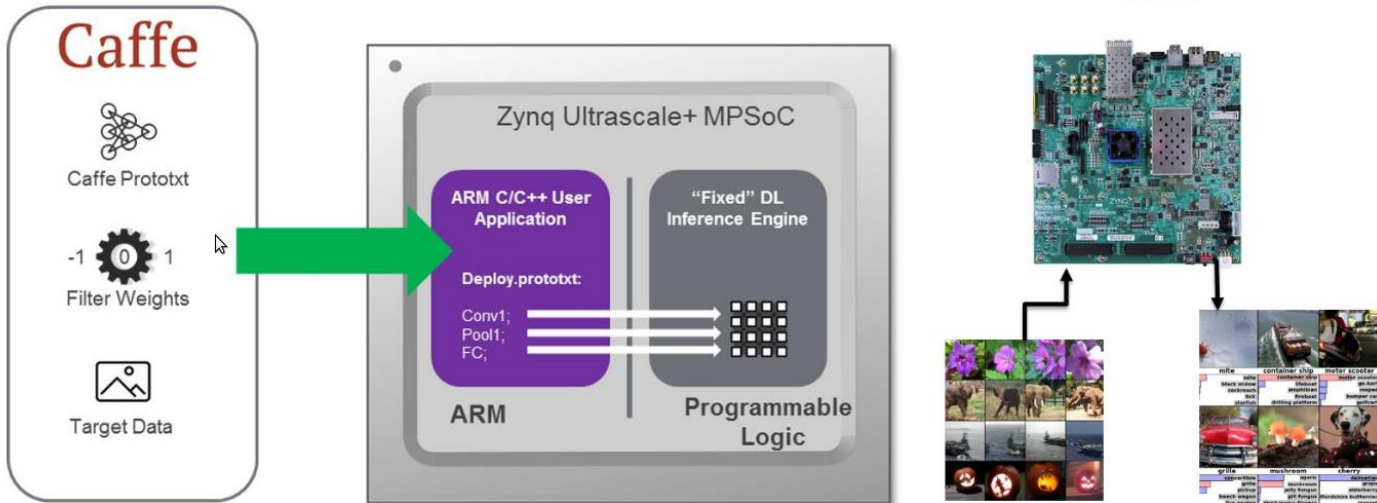
Mākslīgo neironu tīkli



- ★ HDL (*Hardware Description language*) - aparāturu aprakstoša valoda
- ★ HLS (*High-Level Synthesis*) - augsta (abstrakcijas) līmeņa sintēze

Xilinx CHaiDNN

- 1 Import .prototxt and trained weights
- 2 Call prototxt runtime API in your application
- 3 Cross-compile for Cortex-A53 and run on a board



Secinājumi

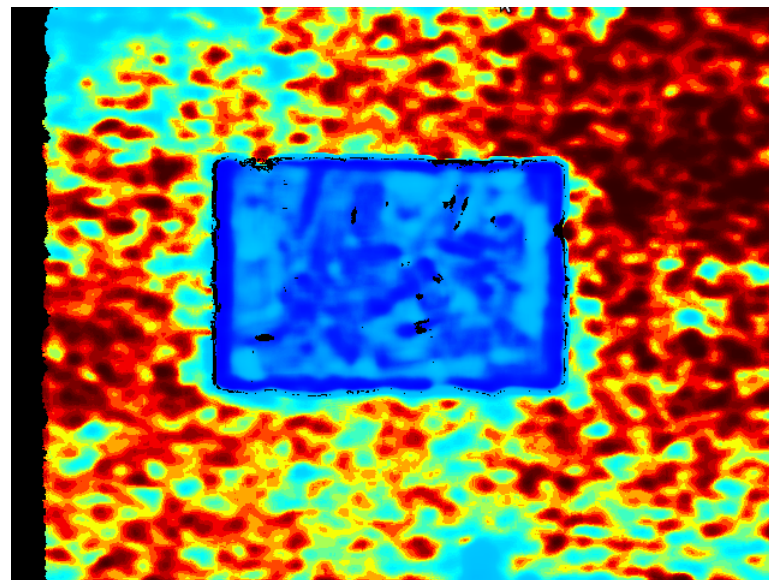
- **CHaiDNN pielietojums - ierobežots:**
 - Atbalsts tikai ReLU aktivizācijas funkcijai
 - Tīkla izejas slāņiem ierobežots atbalsts
 - Iespējams izveidot pielāgotus slāņus, kuri izpildās uz procesora
- Tiek veikta pāreja no peldošā punkta uz fiksētā punkta aritmētiku

Dziļuma datu klasterēšana

- Sākotnējais uzstādījums
 - Izpētīt iespēju izmantot dziļuma datus objektu noteikšanai
 - Implementēt risinājumu c++ valodā
 - Izpētīt algoritma implementēšanas iespējas uz SoC, lai uzlabotu ātrdarbību



Attēls no RGB kameras



Dziļuma karte

Dziļuma datu klasterēšana

- Algoritma ieejas dati (*Radially Based Nearest Neighbor*)
 - Attēla izmērs 640 * 480 pikseļi
 - Attālums starp punktiem 4 mm
 - Attālums līdz kamerai 850 mm



Atsevišķi klasteri



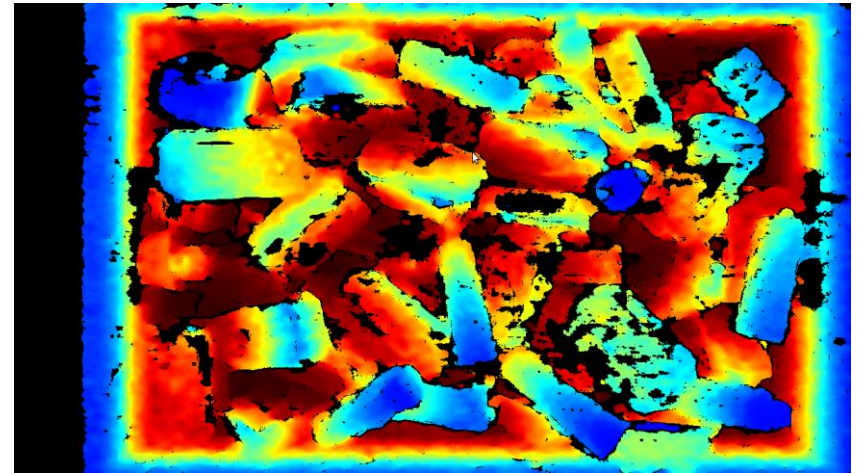
Klasteri ar atbilstošām tekstūrām

Dziļuma datu klasterēšana

- Algoritma ieejas dati
 - Attēla izmērs 1280 * 720 pikseļi
 - Attālums starp punktiem 1,5 mm
 - Attālums līdz kamerai 350 mm



Atsevišķi klasteri



Atbilstoša dziļumu karte

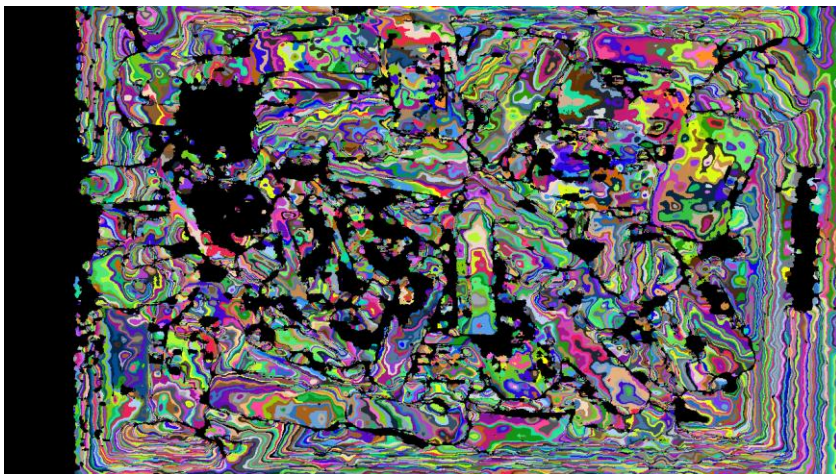
Secinājumi

- Attēlos ar lielāku izšķirtspēju
 - iespējams precīzāk atdalīt objektus
 - iespējams izmantot mazāku kaimiņu punktu meklēšanas radiusu
 - strauji samazinās ātrdarbība
- Kamerai tuvāk esošu objektu attdalīšana ir precīzāka
- Lai iegūtu kvalitatīvus dziļuma datus, nozīmīgs ir apgaismojums un objektu attālums līdz kamerai
- Kameras novietošana tuvāk objektiem atbilst idejai par tās uzstādīšanu uz robota manipulatora

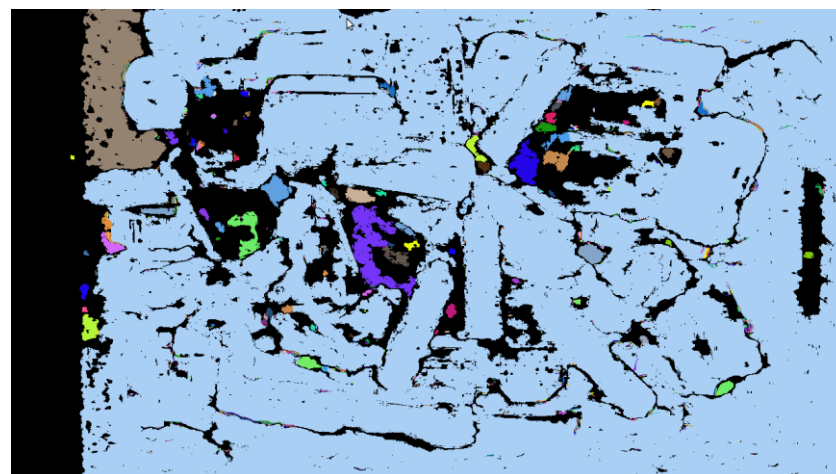
Iespējamie uzlabojumi

- Risinājuma papildināšana ar segmentēšanas algoritmiem, kas attdala objektus balstoties, piemēram uz krāsu intensitāti
- Risinājuma implementēšana uz FPGA

Papildus



Sekas - pārāk mazs meklēšanas radius



Sekas - pārāk liels maks. attālums

Paldies par uzmanību aicinām apskatīt DEMO

