

TARTU ÜLIKOOL

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Rando Hinn

**AHHA TEADUSKESKUSE POOLHUMANOIDROBOTI  
OSKAR KAASAJASTAMINE JA ÜHILDAMINE ROS  
TARKVARARAAMISTIKUGA**

Arvutitehnika bakalaureusetöö (12 EAP)

Juhendajad:  
Tanel Linnas  
PhD Veiko Vunder

Tartu 2021

# Sisukord

<b>Joonised</b>	<b>4</b>
<b>Lühikokkuvõte</b>	<b>5</b>
<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>Kasutatud mõisted ja lühendid</b>	<b>6</b>
<b>Sissejuhatus</b>	<b>7</b>
<b>1 Kirjanduse ülevaade</b>	<b>8</b>
1.1 Humanoid- ja poolhumanoidrobotika . . . . .	8
1.2 Robotika meelelahutuses . . . . .	9
1.3 ROS . . . . .	10
<b>2 Oskar I ja Oskar II</b>	<b>12</b>
2.1 Oskari üldkirjeldus . . . . .	12
2.2 Oskar I ja Oskar II tehniline kirjeldus . . . . .	13
2.3 Oskar I ja Oskar II puuduste analüüs . . . . .	14
<b>3 Eesmärk ja nõuded Oskar III-le</b>	<b>16</b>
3.1 Funktsionaalsed nõuded Oskar III-le . . . . .	16
3.2 Nõuded ROS draiverile . . . . .	16
<b>4 Oskar III</b>	<b>18</b>
4.1 Süsteemiarhitektuuri ülevaade . . . . .	18
4.1.1 Arhitektuuri analüüs . . . . .	18
4.2 Riistvara- ja mehhaanikalahendus . . . . .	20
4.2.1 Mehhaanilised muutused . . . . .	20
4.2.2 Suurte liigendite mootorid . . . . .	22
4.2.3 Sügavuskaamerad . . . . .	25
4.2.4 Elektroonikakontroller . . . . .	26

4.2.5	Kaugjuhtimine . . . . .	26
4.2.6	Ultraheli ja infrapunaandurid . . . . .	27
4.3	Tarkvaralised muudatused . . . . .	28
4.3.1	ROS draiver . . . . .	28
4.3.2	ROS draiveri ja elektroonikakontrolleri vaheline suhtlusprotokoll . . . .	28
4.3.3	MotorPlugin . . . . .	29
4.3.4	OdometryPlugin . . . . .	29
4.3.5	ROS MoveIt tugi . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Kokkuvõte</b>	<b>31</b>
	<b>Tänuavaldused</b>	<b>32</b>
	<b>Kirjandus</b>	<b>33</b>
	<b>Lihtlitsents</b>	<b>35</b>
	<b>Lisa A Oskar III tark- ja riistvara repositooriumid</b>	<b>36</b>

# Joonised

2.1	Ahhaa teaduskeskuse poolhumanoidrobotid: (a) - Oskar I; (b) - Oskar II; (c) - Oskar II sisemus . . . . .	12
2.2	Oskar I ja II arhitektuurjoonis . . . . .	14
4.1	Oskar III arhitektuurjoonis . . . . .	18
4.1	Oskar III Intel NUC parameetrid . . . . .	19
4.2	Oskar III kükitamise mehhanismi 3D mudel programmis SolidWorks. Foto ja disain: Marko Pirbe . . . . .	21
4.3	Oskar III kükitamise otspunktide anduri trükkplaat: (a) - 3D visualiseering programmis KiCad; (b) - komponentidega koost . . . . .	21
4.4	Oskar III käte 3D mudel programmis SolidWorks. Foto ja disain: Marko Pirbe . . . . .	22
4.5	Oskar III suured liigendid (tähistatud punaselt). Foto ja disain: Marko Pirbe . . . . .	23
4.6	Oskar III kasutatavad GYEMS servomootorid (a) - mootori esikülg ; (b) - mootori tagakülg . . . . .	23
4.7	Oskar III kaamera valikute võrdlustabel . . . . .	25
4.8	Mynt EYE S1030 punktipilve kvaliteet . . . . .	25
4.9	CUAV MK15 kaugjuhtimispuht . . . . .	27
4.10	Oskar III paketi ülesehitus . . . . .	29
4.11	Oskar III parema käe juhtimine kasutades <i>MoveIt</i> -i . . . . .	30

# Lühikokkuvõte

## **AHHAA Teaduskeskuse poolhumanoidroboti Oskar kaasajastamine ja ühildamine ROS tarkvararaamistikuga**

AHHAA Teaduskeskusel on kaks kaugjuhitavat robotit Oskar, mis on mõlemad amortiseerunud. Töö eesmärgiks on Oskari arhitektuuri kaasajastamine uue versiooni loomiseks ja robotile ROS-i toe tagamine. Töö tulemuste saavutamiseks kavandati uus arhitektuur ja arendati sellele ROS-i draiver. Töö tulemusena loodi Oskar 3 arhitektuur ja implementeeriti ROS-i draiver koos *MoveIt* toega. Töö täitis oma eesmärgid ja selle baasilt on võimalik luua nõuetele vastav robot.

**CERCS:** T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering

**Märksõnad:** roboti operatsioonisüsteem (ROS), haridusrobot, meelelahutusrobot, süsteemiarhitektuur

## Abstract

### **Modernizing and connecting with ROS the architecture of Science Centre AHHAA Foundation's half-humanoid robot Oskar**

Science Centre AHHAA has two remote-controller robots called Oskar, which are both amortized. The aim of this bachelor's thesis is to update Oskar's architecture for the creation of a new version and implementing ROS support for the robot. To achieve the results, a new architecture was devised and described. Onto that architecture, a ROS driver was built. As a result, a new architecture was created and a ROS driver with MoveIt support was developed. The thesis fulfilled its goals and it is possible to create a robot that meets the requirements based on this thesis.

**CERCS:** T125 Automation, robotics, control engineering

**Keywords:** ROS, robot, automation, educational robot, entertainment robot, system architecture

# Kasutatud mõisted ja lühendid

---

Lühend	inglisekeelne vaste	eestikeelne vaste
ROS	Robot Operating System	Roboti operatsioonisüsteem
CAN	Controller Area Network	CAN-siin
LIDAR	Light Detection And Ranging	laserskanneerimisseade
FPV	First Person View	Esimese isiku vaade

---

# Sissejuhatus

Käesolev bakalaureusetöö tegeleb SA Teaduskeskus AHHAAs uue, kolmanda põlvkonna robotmaskott Oskari arhitektuuri ja tarkvara disaini ja implementeerimisega. Oskarid on aastatega AHHAAs maskotiks kujunenud kaugjuhitavad poolhumanoidrobotid, mille eesmärgiks on lahutada AHHAAs külastajate meelt ja tekitada huvi robotika vastu. Oma vanuse tõttu on nad aga tänaseks päevaks amortiseerunud.

Töö eesmärgiks on luua kaasaegne Oskar III arhitektuur, teha otsused olulisemate riistvarakomponentide osas, arendada robotile ROS-i draiver ja implementeerida sõitmise ja odomeetria alamosad. Selle raames töötati välja arhitektuur, loodi ROS-i draiver ja roboti elektroonikakontrolleri prototüüp, valiti välja olulisemad riistvarakomponendid ja loodi robotile *MoveIt* konfiguratsioon.

# 1. Kirjanduse ülevaade

## 1.1 Humanoid- ja poolhumanoidrobotika

Tänapäevases robotikas muutuvad robotid üha enam mitte ainult inimeste kasutäitjaks, vaid meiega samas keskkonnas samal ajal viibivateks koostööpartneriteks. See aga tähendab, et meie suhtlus nendega muutub järjest olulisemaks, mitmekülgsemaks ja keerulisemaks.

Inimeste ja arvutite vahelist suhtlust kirjeldab termin Inimese ja arvuti interaktsioon (ingl "*Human-Computer interaction*"). Selle valdkonna põhieesmärk on parandada arvuti ja inimese vahelist koostööd, muutes kasutajaliideseid intuitiivsemaks ning seadmeid inimeste vajadustele kiiremini reageerivamaks. [1] Et robotikas on üks peamisi inimese ja roboti kokkupuutekohti füüsiline keskkond, on oluline, et meie igapäevasesse keskkonda paigutatavad robotid ei tekitaks meis ülemäära suurt võõristust. Võõristuse vähendamiseks on aga vaja, et robotid meenutaksid võimalikult suurel määral inimest ennast.

Inimese sarnased robotid on robotikasse toonud humanoidroboti ja poolhumanoidroboti definitsioonid. Humanoidrobotiks loetakse roboteid, millel on erinevalt poolhumanoididest olemas ka eraldi alajäsemed. [2] Sellest hoolimata on piir poolhumanoidide ja humanoidide vahel ähmane ja mitmed tootjad nimetavad ka poolhumanoidide humanoidideks.

Humanoid- ja poolhumanoid robotika on teadusharuna huvitav mitmel põhjusel - see võimaldab uurida näiteks kahejalgset liikumist robotikas [3], erinevaid neuroteaduslikke aspekte - näiteks imiteerimist ja õppimisvõimet ning ka robotite sotsiaalset mõju [4]. Inimkeha simuleerida üritamine viib sellest parema arusaamiseni. Humanoidide uurimise esmased eesmärgid olid nt paremate proteeside ja ortooside loomine inimestele [5].

Lisaks teadustööle kohtab humanoidroboteid järjest enam ka meie igapäevaelus. Kuna enamik tööriistu meie ümber on disainitud inimest silmas pidades, siis peavad nendega toimetavad robotid olema meie sarnased. Samuti on robotid kasutusel nt eakate eest hoolitsemisel ning ka töödel, mida inimene ise teha ei taha või mis teda ohustavad. Erinevaid humanoidroboteid ja nende potentsiaalseid kasutuskohti kajastab nt 2010 aasta dokumentaalfilm Plug & Pray [6], mis keskendub tehisintellekti ja robotika võimalustele, probleemidele ja eetikaküsimustele.



Humanoidroboteid vaadates näeme, et sarnaselt meile endile omavad ka nemad pead, kaht kätt, ülakeha ja kaht jalga. Poolhumanoididel on üldjuhul kahe jala asemel üks toru ja ratastel liikuv platvorm. See vahe nende konstruktsioonides toob endaga kaasa ka erisused nende võimekuses - jalgadega humanoide saame kasutada inimese jaoks mõeldud keskkondades, ratastel robotid aga üldjuhul ilma lisakonstruktsioonideta nt trepist üles ei saa. Poolhumanoidrobotitel tekib aga isegi selliste konstruktsioonide puhul tasakaalu kaotuse oht - kuna trepid on kaldus, siis vajaks sellised robotid vöökohta liigendit, või riskiksid selg ees trepist alla kukkumisega. Neil põhjustel ei ole ka käesoleva lõputöö autor teadlik ühestki treppidest liikuda suutvast poolhumanoidrobotist.

Selleks, et tajuda ümbritsevat maailma ja võimaldada autonoomsust, on robotid tavapäraselt varustatud erinevat tüüpi anduritega. Algelisemate robotite puhul võib tegu olla vaid mõne üksiku kokkupõrget tuvastava lülitiga, edasijõudnumad ning kõrgelt arenenumad robotitel on maailmast aru saamiseks vaja rohkem infot. Tihtipeale on sellistes roboties kasutatav tehnoloogia ka keerukam ning kasutatakse mitme anduri andmete kombineerimist (ingl *sensor fusion*). Näiteks Boston Dynamicsi Atlas, mida ettevõtte ise nimetab üheks kõige võimekamaks humanoidrobotiks ja mida on avalikult arendatud alates 2013. aastast, saab maailmast aru Lidari ja stereokaamerate kombineerimise abil [7].

Aldebaran Robotics (al. 2015 SoftBank Robotics) Nao robotil, mida kasutatakse maailmaüleselt peamiselt uurimistööks ja robotikahariduses, natuke ka tervihoiusektoris, on kõrgtehnoloogilisematest sensoritest kasutusel infrapuna, sonarid, güroskoop, kiirendusandur, kaamerad, mahtuvustundlikud lülitid ning survetundlikud takistid. Lisaks mikrofonid ja pörkeandurid. [8]

The Walt Disney Company robot Stuntronics kombineerib laserid, güroskoobid ja aktseleeromeeterite info. Vajadus kasutada nt Atlasest tunduvalt keerukamat andurite kombinatsiooni, tuleneb otseselt Stuntronics roboti põhiülesandest - inimesele potentsiaalselt ohtlikel kaskadööritrikkidel kaskadööri asendamisest. Et sellised trikid on peamiselt seotud õhus lendamise-hüppamise-kukkumisega, peab robot olema suuteline õhus aru saama, mis pidi ta on, kuidas liigub ja suutma enda asendit maapinna suhtes lennult muutma. [9]

Poolhumanoidrobotitel kasutusel olevad andurid ei erine neist, mis on kasutusel ka humanoidrobotite juures. Näiteks on SoftBank Robotics Pepper robotil 6 laserit, 2 sonarit, sügavus- ja värvikaamera. Halodi Robotics EVER3 saab hakkama aga liikumisensoori Microsoft Azure Kinect ja inertsiaalanduri abil [10].

## 1.2 Robotika meelelahutuses

Erinevaid roboteid saab edukalt kasutada ka inimeste lõbustamiseks. Selles valdkonnas tuntuimad robotikasuunad liigituvad kategooria „robotkoerad” alla, mida on väheste

muudatustega toodetud aastate jooksul vahelduva eduga. Üks tuntumaid selliseid robotkoeri on Sony Aibo - robotkutsikas, kes on võimeline õppima ära tundma näiteks oma nime ja teisi pereliikmeid, ning kes maksab 2899.99 \$. [11]

Kuid meelelahutusvaldkonnas saab edukalt rakendada ka humanoid- ja poolhumanoidroboteid. Eelnevalt mainitud Walt Disney Stuntronics-it plaanib ettevõtte rakendada oma teemaparkide tulevastel atraktsioonidel, samuti on nad tegelemas ka teemapargis ringi kõndida ja küllastajatega suhelda suutva humanoidroboti arendamisega koodnimetuse "project Kiwiäll. Projektist on tänaseks päevaks ilmunud artikleid ja demosid, kus roboti väliskujuks on rakendatud Marvel Comics'i tegelaskuju Groot. Kuigi see demo kasutab veel juhtkaablit, on efekt siiski usutav. [12]

### 1.3 ROS

Robotite loomine on tarkvaratehniliselt vägagi keeruline ja väljakutsuv protsess. Selleks, et lihtsustada robotite arendusprotsessi ja võimaldada kõrgtaseme loogika ning algoritmide taaskasutamist kõikvõimalike erinevate robotite vahel, on loodud ROS.

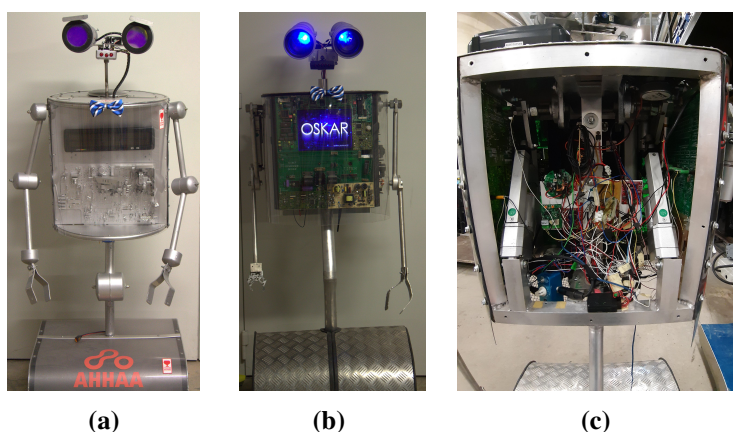
ROS, ehk Robot Operating System, on laialtlevinud robotika vahevara, mida kasutab suur osa tänapäeva tööstus- haridus jt robotitest [13]. ROS võimaldab vähese vaevaga juba olemasolevatest moodulitest, ehk kimpudest võtta kasutusele vajaminevad funktsionaalsused. ROS-iga kokkusobiva riistvara korral töötab sama kood igal pool. ROS-i draiverid loovad silla ROS-i ja roboti riistvaralise implementatsiooni vahel, muutes selle ühilduvaks teiste ROS-i kasutatavate robotitega. Draiver võimaldab seega taaskasutada kõrgema taseme loogikat - sama koodiga saab seega sõita nii mõnekilose robotiga, kui ka näiteks mitmetonnise automatiseeritud lennukipuksiiriga, kui mõni selline peaks eksisteerima. ROS pakub funktsionaalsust sõnumivahetuseks erinevate sõlmede (ingl *node*) vahel, kusjuures sõlmed defineerivad ise, milliseid sõnumeid nad kuulutavad (ingl *publish*), ning milliseid sisendsõnumeid tellivad (ingl *subscribe*). Sõnumid sisaldavad vaid andmeid - kõigi sõlmede tööloogika ja implementatsioon on nende sisene. See võimaldab sobivate sisend- ja väljundsõnumite korral vahetada vähese vaevaga välja näiteks kaardistamis- või teeplaneerimisalgoritmi, või vahetada roboti kaugjuhtimine klaviatuurilt mängupuldile. Kuna sõnumite edastamiseks on kasutusel TCP/IP protokoll, on sõnumeid võimalik edastada ka üle võrgu erinevate seadmete vahel. Sedasi saab luua robotile näiteks kaugjuhtimisjaama. Kuigi ROS-i nimes on sees sõnad *Operating System*, ei asenda see siiski arvuti operatsioonisüsteemi, vaid on olemuselt erinevate teekide, pistikprogrammide ja rakenduste kooslus, mis on vaikumisi arendatud Ubuntu Linux distributsioonidele. Iga ROS-i versioon on põhjalikult testitud töötama ühe konkreetse Linux versiooniga. Käesolev töö kasutab ROS-i väljalaset Melodic, mis töötab Ubuntu 18.04 LTS operatsioonisüsteemil.

ROS-i veelgi võimekamaks muutmiseks on töös kasutusel *MoveIt* [14], mille näol on tegemist ROS-i peal toimiva robotmanipulaatorite juhtimise ja liigutuste planeerimise tarkvarakomplektiga. *MoveIt* võimaldab roboti käte liigutamisel liigutada samaaegselt käe soovitud asendisse jõudmiseks ka kõiki teisi roboti liigendeid. Selle kasutamiseks piisab, kui roboti kirjeldusfailis robot korralikult ära defineerida ja luua *MoveIt* konfiguratsioonipakk.

## 2. Oskar I ja Oskar II

### 2.1 Oskari üldkirjeldus

Oskar (poolametlikult Oskar Põdramägi) on aastatega AHHA A Teaduskeskuse maskotiks kujunenud meelelahutusliku otstarbega robot, mille I ja II versioonid on toodud Joonistel 2.1a ja 2.1b. Esteetilise välimusega Oskar II sisemuses avanev vaatepilt on näidatud joonisel 2.1c Oskarit kasutatakse peamiselt AHHA külastajate lõbustamiseks keskuse saalides, aegajalt ka väljasõitudel mujale. Samuti on robot tugevalt sisse töötatud erinevatesse kujunduselementidesse. Ehituselt on tegemist poolhumanoidrobotiga. Roboti definitsioonile [15], mille järgi robot on programmeeritav, automaatselt isetoimiv/-töötav masin, vastab Oskar praegu siiski vaid sõna „robot” väga liberaalses kasutuses, kuna seniste versioonide näol on tegemist kaugjuhtimisel põhinevate seadmetega, millel puuduvad nii võimekus eelprogrammeeritud tegevuste läbiviimiseks kui ka autonoomsus (seega on tegemist autonoomsuse tasemega *level 0*) [16].



**Joonis 2.1.** Ahhaa teaduskeskuse poolhumanoidrobotid: (a) - Oskar I; (b) - Oskar II; (c) - Oskar II sisemus

## 2.2 Oskar I ja Oskar II tehniline kirjeldus

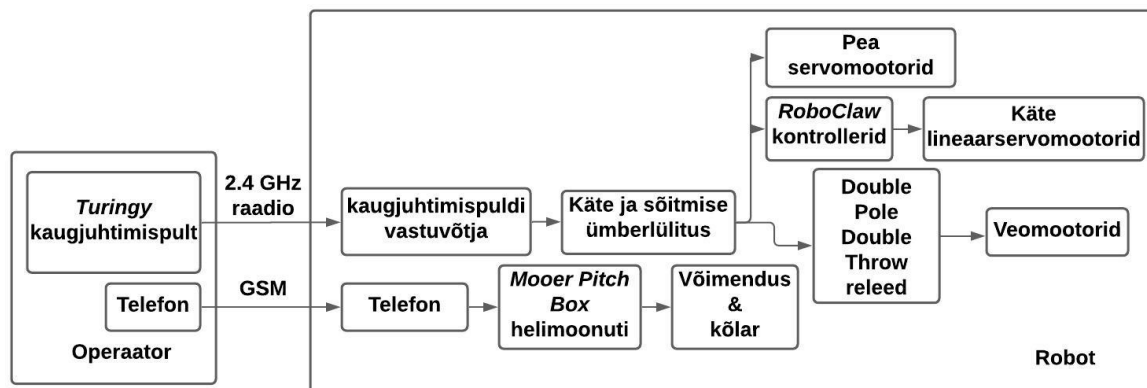
Oskar I ja Oskar II, on oma olemuselt võrreldavad keskmisest võimekama puldiautoga. Mõlemad on täielikult kaugjuhtimisel seadmed. Kummagi roboti juhtimiseks on kasutusel 2.4 GHz raadioga Turingy 9X pult. Heliedastus roboti rääkima panemiseks on lahendatud üle tavalise telefonikõne - Oskari keres paikneb selleks tarbeks 3.5 mm pistik, kuhu on võimalik ühendada telefon, mille kõne heli moonutatakse PitchBoxi abil ja võimendatakse valjuhäälditesse. Videoedastus antud robotite juures puudub.

Oskar I ja II arhitektuuri ülesehitus on kujutatud joonisel 2.2. Jooniselt puudub roboti toitesüsteemi ülesehitus, kuivõrd selle täpne tuvastamine oli tänu puuduvale kaablihaldusele robotit kahjustamata võimatu. Robotite arhitektuurne ülesehitus on sama, erinevused on roboti ehitusmaterjalides (Oskar I - plast, Oskar II - alumiinium) ja selles, et Oskar II on disainitud omama ka üht täisfunktsionaalset kätt.

2020 aasta sügisel on töö autori poolt Oskar II sees hooldustööde käigus ülestähendatud järgnevad komponendid:

- Turingy 9x 8Ch Reciever V2 vastuvõtja
- Turingy UBEC 7.5 A (DC-DC)
- RoboClaw 2x5 A 2tk lineaarservomootorite kontrolleri
- Releepaar veomootorite juhtimiseks
- Teadmata tootja ja mudeliga releemoodul
- Pololu lineaarservomootorid "Generic with feedback"
- 1 Bluebird servomootor, 1 tuvastamata servomootor
- Pololu JRK lineaarservomootorite kontrolleri
- *PitchBox* helimoonuti
- Teadmata tootja ja mudeliga veomootorid
- Arduino Nano
- Teadmata tootja ja mudeliga meediamängija
- Geelakud
- 2 kasutuseta käed-vabad skeemi

Joonisel 2.2 on näha, et Oskarid I ja II (mõlemad sama ülesehitusega) on küllalt lihtsakoelised. Roboti juhtimiseks on kasutusel 2.4 GHz raadioside, ning heliedastus toimub telefonikõne abil üle GSM side.



Joonis 2.2. Oskar I ja II arhitektuurjoonis

## 2.3 Oskar I ja Oskar II puuduste analüüs

Oskar I ja Oskar II on ostutooted, millest esimene pärineb USA ettevõttelt Florida Robotics, ning teine valmis tellimustööna Eestis. Alljärgnevalt on kirjeldatud Oskar II puudused. Kuna Oskar II loomisel oli aluseks Oskar I siis kehtib sama loetelu suuremal määral ka Oskar I jaoks. Puuduste loetelu põhineb nii vestlustel AHHA ekspositsiooniosakonnaga kui ka robotite kohta esitatud rikketeadete kirjeldustel, samuti lõputöö autori üle viie aastasel kogemusel AHHA vabatahtliku ja giidina.

- Liigkeeruline juhtpult. Oskar I ja oskar II komplektis olev Turingy 9X omab liiga palju füüsilisi sisendeid. Igapäevakasutuses läheb neist vaja vaid kahte juhtkangi ja ühte lülitit, mis on mõeldud pea ja käte liigutamise ümberlülitamiseks. Kaugjuhtimispuulti ei ole võimalik iga lülitiasendiga käivitada. Selle peale kuvatakse lakoonilist veateadet "Switch error!". Seejärel peab hakkama otsima, milline/millised lülitite asendid vea põhjustavad. Kuigi lülitite vaikeasend on dokumentatsioonis kirjeldatud, ei ole see AHHA vabatahtlike ja/või giidide jaoks olnud intuiitiivne ja nõuab pidevalt meeldetuletamist. Kaugjuhtimispuuldi kiire sisselülitamine on eriti oluline nt messidel või eriüritustel, et tagada Oskarite AHHA-efekt.
- Piiratud ilmekus. Kuna robotitel on juhitud vaid pea vaatesuund, rattad ja praeguseks hetkeks käte asend vertikaalteljes (varem on Oskar II käed olnud rohkema funktsionaalsusega), siis on Oskariga jah-ist ja ei-st keerulisemate emotsioonide esitamine keeruline. Natukene aitab võimalus läbi Oskari külastajatega rääkida, ent tuleb eeldada, et kõik ei pruugi seda julgeda või olla piisavalt jutukad. Kuna robot kasutab

niinimetatud ühekäelise bandiidi süsteemi, et mahtuda vajaminevate raadiokanalitega kaugjuhtimispuldi ja vastuvõtja võimekuse piiridesse, ei ole võimalik korraga juhtida pead ja käsi. Sedasi on nt. Oskari kõrval seisvale inimesele käe ulatamine tervituseks neljaosaline protsess - vaata pea servomootorite abiga tema poole, keera rataste abil kogu robot tema suunas, leia puldilt käte juhtimise režiimi lülitamise lüliti ja rakenda see, tõsta käsi. Ideaalis võiks robot olla suuteline tegema seda ühe kompleksliigutusena.

- Kehv heli tagasiside. Kuigi Oskari häält tekitava robotioperaatori jutt on robotil paiknevast kõlarist valjult kuulda, ei ole robotile paigaldatud mikrofonid kõige tundlikumad või nende töös esineb tõrkeid. Külastaja tagasiside puudumisel ei ole võimalik reageerida näiteks küllastajate küsimustele ning Oskarina rääkimine taandub suuresti operaatori suutlikkusele hoida üleval ühepoolset vestlust.
- Puudulik videotagasiside. Kuigi Oskar II algsetes disainidokumentides on ette nähtud IP kaamera olemasolu robotis ja nagu lähemal vaatlusel selgus, endiselt alles ka ruuter selle tarbeks, ei toiminud see praeguseks üle viie aasta taguste tehnoloogiatega kunagi piisavalt hästi, ning selle kasutamisest loobuti. Videopildi puudumine tähendab, et oskari juhtimiseks peab olema operaatoril otsenähtavus robotile (enamasti AHHA tehnoloogiasaali kolmanda korruse rõdult). See aga suurendab nii eksponaatidele kui ka küllastajatele otsa sõitmise riski, mis jätab robotist pigem rumala mulje.
- Mehhaanilised kitsaskohad. Robotite liigendid ei ole kuigi elegantsed ega väga vastupidavad. Esinevad liigsed lõtkud ja liigutamisel kostub defektidele viitavaid helisid. Pead küljelt küljele või üles-alla liigutades vetrub see otspunktidest läbi ja tekitab tunde, nagu kael oleks želatiinist. Samuti ei ole võimalik roboti pea absoluutse asendi määramine - pea võtab oma keskpunktiks sisselülitamisel oleva asendi.
- Piiratud funktsionaalsusega käed. Oskar I ja Oskar II on võimelised oma käsi liigutama vaid ühes teljes - üles ja alla. Raadioside kanalite vähesuse tõttu on haaramisfunktsioon vaid ühel käel, kuid seegi võimekus enam ei toimi, kuna haaratsi servomootorid lõhutakse laste poolt lihtsalt ära.
- Autonoomia. Oskar I ja Oskar II ei suuda iseseisvalt ringi sõita, ruumis lokaliseerida ega erinevate punktide vahel navigeerida. See aga tähendab, et suurema osa ajast ei ole Oskarid küllastajatele nähtavad, kuna eraldi täiskohaga Oskari operaatori töökoha pidamine pole otstarbekas. Hetkel on tööl oleva personali tähelepanu on suunatud oma põhitööle saalides. Väljalülitatud robotit saali jätta ei saa, kuna see jätkaks küllastajaile mulje, et eksponaat on katki ja ahvatleks robotit lõhkuma.

## 3. Eesmärk ja nõuded Oskar III-le

### 3.1 Funktsionaalsed nõuded Oskar III-le

Oskar III-na soovib AHHA Teaduskeskus näha kaasaegset robotit, mis suudaks AHHA saalides navigeerida iseseisvalt ja tuleks toime mõningal määral külastajate ise lõbustamisega. Samaaegselt peab säilima võimalus operaatoril roboti kaugjuhtimiseks (ka siis, kui roboti autonoomse režiimi eest vastutavates moodulites on tekkinud tõrkeid). Robotil peab olema valmisolek end tulevikus ise laadima viia. Võrreldes eelkäijatega peab kolmanda põlvkonna robot olema nii mehhaanika poolelt loomulikum kui ka elektroonika poolelt võimalusterohkem. Samas peab Oskar III võimalikult palju säilitama Oskar I ja Oskar II identiteeti, sest Oskarist on saanud AHHA maskott, mida kasutatakse laialdaselt AHHA kujundustes. Peatükis 2.3 esile toodud probleemkohtadest vajavad töökindlaid lahendusi piiratud ilmekus, kehv heli tagasiside, puudulik video tagasiside, mehhaanikaprobleemid ja vaid käsitsi juhtimist võimaldav operaatori juhtpult. Uus pult peab kasutama optimaalsemat füüsiliste nuppude-lülite arvu ja võimaldama sooritada eelprogrammeeritud keerukamaid liigutusi. Lisaks peab puldil olema puutetundlik ekraan, koos piisavalt avatud tarkvaraga, et sellele saaks arendada oma kasutajaliidese.

Robot peab olema suuteline liikuma, jätma mulje, et ta räägib, kuuleb, näeb, ning sellega peab saama edasi anda ka peavangutamises keerukamaid emotsioone. Eesmärgiks on loetletud tegevusi tulevikus osaliselt autonoomselt teostada, viies roboti autonoomsustasemete 3 ja 4 vahepeale. Autonoomsustaseme 3 korral suudab robot iseseisvalt otsuseid teha ja täide viia, kuid inimene peab olema igal hetkel valmis juhtimist üle võtma, tase 4 puhul aga enamusel ajast inimese sekkumine vajalik ei ole [16].

### 3.2 Nõuded ROS draiverile

Käesoleva töö raames kaasajastatakse Oskar III riist- ja tarkvaraarhitektuur ning luuakse ROS-i kasutamise võimaldamiseks draiver. Loodav draiver peab olema tulevikus lihtsasti laiendatav uute funktsionaalsuste implementeerimiseks. Järgnev loetelu toob välja peamised draiverile esitatavad nõuded.

- Peab võimaldama robotil sõita nii autonoomselt, kui teleoperaatori abil.

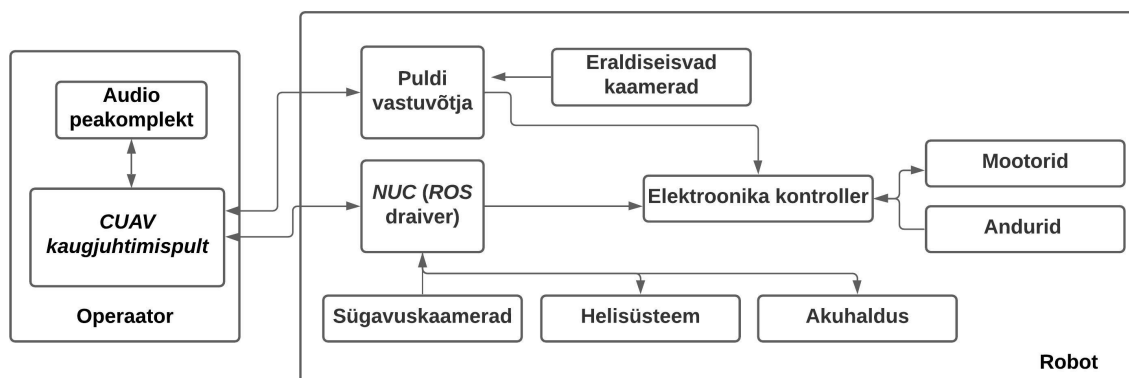


- Kasutatavates suhtlusprotokollides peab olema kasutuses veakontroll.
- Peab olema võimeline juhtima rataste kiiruseid ja lugema odomeetria.
- Peab olema võimeline vastuvõetud odomeetria abil roboti hetkeseisu visualiseerima.
- Peab olema võimeline edastama infot roboti hetkeolukorrast kaugjuhtimispulti ja võtma sealt vastu käske.
- Peab olema vähese vaevaga täiendatav roboti valmimise käigus eri füüsiliste osade juhtimiseks.

## 4. Oskar III

### 4.1 Süsteemiarhitektuuri ülevaade

Oskar III väljatöötamine soovitud kujul eeldas olulisi arhitektuurilisi muudatusi. Varasemalt kirjeldatud autonoomsuse võimaldamiseks ja tarkvaraarenduse lihtsustamiseks saavad roboti keskseks osaks ROS draiveriga arvuti ja selle külge ühenduv elektroonikakontroller. Käesoleva bakalaureusetöö raames määrati üldine uus arhitektuur ja esmased kasutusse minevad protokollid vastavalt valitud olulisemale riistvarale. Oskar III arhitektuur on illustreeritud alloleval joonisel 4.1. See joonis ei esita roboti toitesüsteemi ülesehitust suuremalt, kui akuhaldussüsteem, mille monitoorimise ühenduskanal on kindlalt määratud, kuivõrd toitesüsteem ei ole ROS draiveri arendamise seisukohast kriitiline.



Joonis 4.1. Oskar III arhitektuurjoonis

#### 4.1.1 Arhitektuuri analüüs

Erinevalt Oskaritest I ja II on Oskar III tänapäevane ning seetõttu oma arhitektuurilt ka keerukam seade. Oskar III pardaarvutiks on ROS-i käitav Intel NUC, mudelinumbriaga NUC10i5FNH. Pardaarvuti tehnilised parameetrid ja hind on ära toodud järgnevas tabelis (Tabel 4.1)

**Tabel 4.1.** *Oskar III Intel NUC parameetrid*

Parameeter	Väärtus
Mudel	NUC10i5FNH
Protsessor	Core i5 10210U / 1.6GHz
Juhtmevabad ühendused	Bluetooth 5.0, 802.11a/b/g/n/ac/ax
Muutmälu	16 GB
SSD	Samsung 970 EVO Plus 250GB
Hind	494,12 €

Võrreldes seda kirjanduse ülevaates mainitud SoftBank Robotics Pepper robotiga, mille V1.6 pardaarvuti kasutab neljatuumalist Intel Atom E3845 protsessorit, 4 GB DDR3 muutmälu ja 8 GB *Flash* tüüpi mälu, näeme et Oskar III pardaarvuti omab 4 korda rohkem muutmälu, ca 16 korda rohkem salvestusruumi, ning võimekamat protsessorit. Võimas arvuti lubab reaajas ümbritsevat keskkonda kaardistada, planeerida oma liikumist ning tulevikus lisada soovi korral veelgi kõrgtasemelisi funktsionaalsust.

Pardaarvutiga tandemis töötab elektroonikakontroller, mis suhtleb ROS-i draiveriga USB-UART ühenduse kaudu ning mille peamisteks ülesanneteks on:

- ROS draiverilt käskude vastuvõtt
- Odomeetria tagastamine ROS-i draiverile
- Vastuvõetud käskude järgi roboti täiturite juhtimine
- Kaugjuhtimispuldi vastuvõtja signaalide lugemine, vajadusel nende ROS-i draiverile edastamine või nende järgi roboti liigutamine
- Roboti kaugusandurite mõõteandmete edastamine ROS-i draiverile.

Kuigi kogu roboti juhtimise saaks teostada läbi ROS-i, ühendades kaugjuhtimispuldi vaid WiFi abil pardaarvutiga, on valdava enamuse turul saada olevate puuetundliku ekraaniga kaugjuhtimispultidega kaasas (originaalis droonidel kasutamiseks mõeldud) tõrkekindel ja suure levialaga vastuvõtja-pildiedasti. Seetõttu on Oskar III arhitektuuris tehtud teadlik valik suunata selle vastuvõtja signaal esmalt elektroonikakontrollerisse, tagamaks võimaluse robotiga kaugjuhtimispuldi abil sõita ka siis, kui ROS-i draiver peaks mingil põhjusel taastumatult kokku jooksuma. Selline lähenemine vähendab tõenäosust, et üle 50 kg kaaluvat robotit tuleb

saalist hooldusesse transportida mitmekesi. Enamik selliseid vastuvõtjaid võimaldavad ka vähemalt ühe kaamera pildi tagasisaatmist kaugjuhtimispulti, võimaldades taaskord ROS-i draiverist sõltumatult teostada pildiedastust. Lisafunktsionaalsused - emotsioonide käivitamine, heliedastus ja teiste kaamerate pildiedastus toimivad üle kaugjuhtimispuldi WiFi ühenduse Oskari pardaarvutiga.

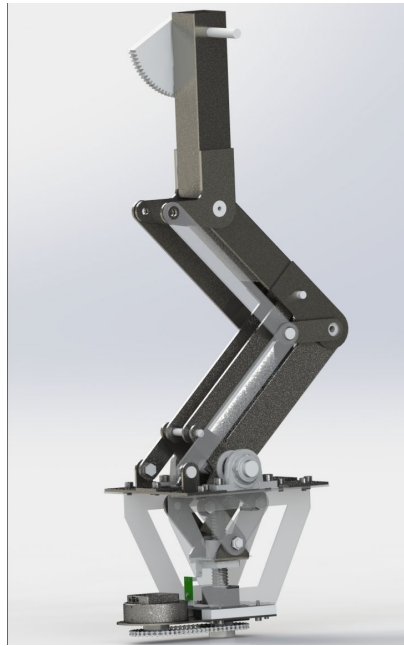
## **4.2 Riistvara- ja mehhaanikalahendus**

### **4.2.1 Mehhaanilised muutused**

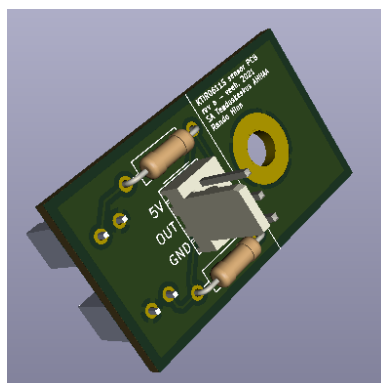
Kuigi käesolev bakalaureusetöö ei sisalda endas Oskari mehhaanikaosade disaini, ning roboti füüsilise joonestamise-konstrueerimisega tegeleb AHHA ekspositsioonimeister Marko Pirbe, on sellise projekti puhul elektroonika ja mehhaanika omavahel siiski tugevalt seotud. Seetõttu on käesolevas alapeatükis kirjeldatud ka Oskar III implementeeritavad põhilised mehhaanilised uuendused.

Oskar III mehhaanikaosa on disainitud, muutes olemasolevat, AHHA kujundusmaterjalidesse sisse disainitud ja maskotiks kujunenud Oskari üldkuju võimalikult vähe. Sel põhjusel ei ole tehtud suuremaid muudatusi nt Oskar III pea ja üldkuju disainis. Muudatusi on siiski tehtud, kuna vastupidisel juhul ei oleks võimalik implementeerida kõiki soovitud liikuvaid osi. Samuti on uue disaini komponendid koostatud mehhaaniliselt vastupidavamad.

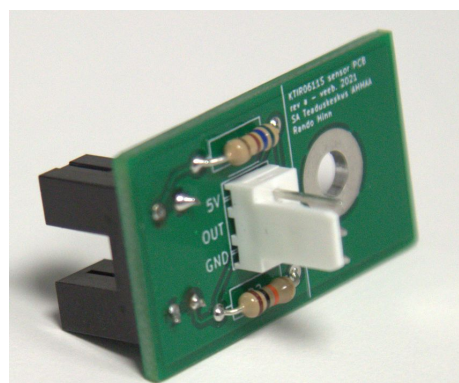
- Kükitamise ja kummardamise. Lisame robotile kaks täiesti uut liigendit - ühe käärlifti põhimõttel toimiva liigendi, mis laseb sellel kogu ülakehaga maa poole laskuda - kükitada, ning teise hammaslatiga liigendi, mis võimaldab keha veelgi maa poole pöörata - kummardada. Nii on robotiga võimalik tulla väikestele lastele lähemale ja muuta selle liikumist dünaamilisemaks. Kuna kükitamise mehhanism oli üks esimesi valminud mehhanisme, on selle abil elektroonikakontrollerisse implementeeritud ja testitud kogu mootorite otspunktide leidmise meetodika. Otspunktide anduritena kasutatakse KingBright KTIR0611S fotokatkesteid, millele töö autor disainis eraldi trükkplaadi [17]. Plaadi reaalne välimus ja 3D visualiseering on esitatud vastavalt joonistel 4.3a ja 4.3b. Kükitamise mehhanismi 3D mudel on kujutatud joonisel 4.2



**Joonis 4.2.** Oskar III kütitamise mehhanismi 3D mudel programmis SolidWorks. Foto ja disain: Marko Pirbe



(a)



(b)

**Joonis 4.3.** Oskar III kütitamise otspunktide anduri trükkplaat: (a) - 3D visualiseering programmis KiCad; (b) - komponentidega koost

- Mitmeteljelised käed. Oskar III kätel on kolm suurt liigendit - kaks õlas ja üks küünarnukis, samuti on kätel sõrmi imiteerivad haaratsid. Käed ise on valmistatud seest õõnes torudest, mis vähendab oluliselt nende kaalu ja võimaldab märkamatult vedada elektroonikasüsteemi juhtmestikku. Suurte liigendite mootoriks on allpool kirjeldatud GYEMS servomootorid. Joonisel 4.4, on kujutatud käte mehhaaniline disain.



**Joonis 4.4.** Oskar III käte 3D mudel programmis SolidWorks. Foto ja disain: Marko Pirbe

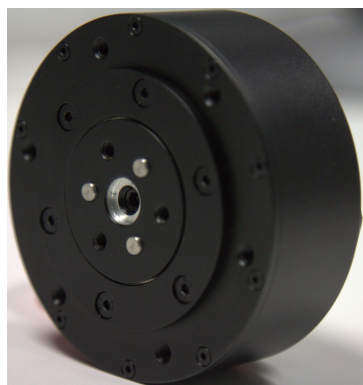
Kõik mehhaanilised liigendid on disainitud olema vastupidavamad võrreldes Oskar II omadega.

#### **4.2.2 Suurte liigendite mootorid**

Kõikide suurte liigendite jaoks (käed, kükitamine, kummardamine, kujutatud joonisel 4.5) valiti koostöös AHHA ekspositsiooniosakonnaga Hiina mootoritootja GYEMS'i [18] RMD seeria harjavabad servomootorid (Joonis 4.6).



**Joonis 4.5.** Oskar III suured liigendid (tähistatud punaselt). Foto ja disain: Marko Pirbe



(a)



(b)

**Joonis 4.6.** Oskar III kasutatavad GYEMS servomootorid (a) - mootori esikülg ; (b) - mootori tagakülg

Tavaliste brushless või ka sammootorite ees on neil mitmeid eeliseid, mis osutusid ka valiku põhjuseks:

- Kogu mootori jõuelektroonika paikneb mootori sees. Väliseks kontrolliks on vaja ainult toite ja juhtprotokolli ühendust. Mõlema korral on optimeeritud nii kaabelduse kui ka pistikute ruumikasutust - toitepinge 48 V DC võimaldab kasutada väiksema läbimõõduga kaableid ning mootoreid saab juhtida kas CAN või RS485 protokollu kaudu. Nii toite kui ka juhtsignaalide ühendusteks kasutatakse väikseid (vastavalt XT30 ja JST GH) pistikuid.
- Optimaalne hinna ja kvaliteedi suhe. Üks mootor maksis esimeste katsemudelite tellimisel ca 300 €. Mootorite väliskest on alumiiniumist, mis teeb neist küllaltki tugevad seadmed. Lisaks sellele on nad ülitäpsed, suutes teha suuri hüppeid oma asendis murdosa sekundiga ja 0.01 kraadi täpsusega.
- Mitmed eri viisid mootori juhtimiseks. Protokollid toetavad nii konstantse kiirusega pöörlemist, 0.01 kraadi täpsusega absoluutse asendi seadmist, kui ka mootori väändejõu juhtimist. See võimaldab kasutada mootoreid pea igasuguseks otstarbeks. Samuti on neil piisavalt jõudu liigendite liigutamiseks ning ka nende paigal hoidmiseks.
- Varuosade saadavus. Mootori kontrollerit on võimalik osta ka eraldiseisvalt, seega ei pea selle katkimineku korral vahetama välja tervet mootorit. See on ka üheks suurimaks eeliseks teiste sarnase kuju ja tööpõhimõttega mootorite (nt HT-04 tüüpi „MIT Cheetah” mootorid) müüjate ees.

Gyems RMD seeria mootorid kasutavad juhtimiseks kas CAN ehk *Controller Area Network* või RS485 protokolle. Üks mootor toetab korraga ühte protokollu, mis tuleb otsustada tellimise hetkel. CAN ja RS485 on fundamentaalselt erinevad - CAN on tarkvaraline protokoll, RS485 kirjeldab ära aga vaid siini elektrilise toimimise. OSI võrgumudelil katab RS485 seega vaid esimese kihi, CAN lisab sinna aga ka teise kihi. Lisaks loob CAN ühe pisikese erinevuse ka siini elektrilisse toimivusse - kui RS485 juhitakse aktiivselt nii siini aktiivsesse kui mitteaktiivsesse olekusse, siis CAN juhitakse vaid aktiivsesse.

Et CAN on tarkvaraline protokoll lahendab see lisaks ära ühe suurima ohukoha automaatika- ja robotikasüsteemide loomisel - kõikvõimalikud pakettide sisusse edastamisel või vastuvõtul tekkida võivate vigadega mitte arvestamine. Selle vältimiseks on CAN-il sisse ehitatud veakontroll. Klassikaline CAN kasutab selleks 15 bitist CRC-d. Veakontroll välistab saatmisvigade korral mootorite isetegevuse. Oskar III elektroonikaplaadil implementeeritud CAN kontroller suudab siini poolt indikeeritud vea korral ka sama paketi uuesti saata üritada.

Lähtuvalt eelnevalt kirjeldatust ning asjaolust, et konkreetsete GYEMS mootorite juhtimisprotokollides on veel üks CAN kasutamist lihtsustav nüanss - kõik CAN paketid on alati sama pikad, RS485 omad aga mitte, otsustati Oskar III mootoritena kasutada CAN juhtimisel mudeleid.



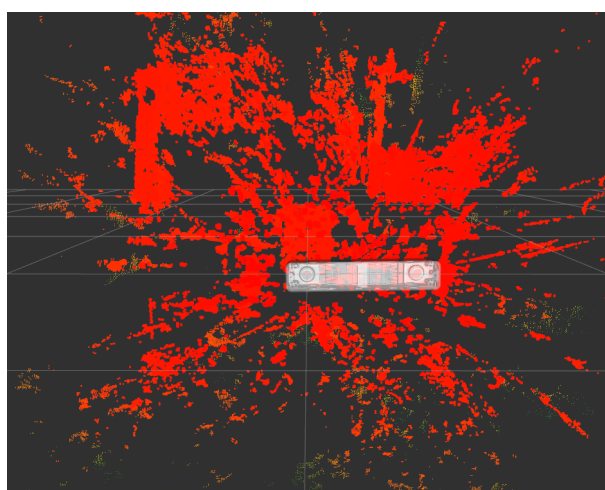
### 4.2.3 Sügavuskaamerad

Sügavuskaamerate eesmärgiks robotis on võimaldada Oskaril iseseisvalt oma ümbrust kaardistada ning tulevikus selles navigeerida ilma esemetele või inimestele otsa sõitmata, täites sellega autonoomse liikumise nõude. Algne kaameravalik teostati võrreldes Hiina tootja MYNT EYE kaameraid laialt levinud Intel Realsense'iga. Kuna spetsifikatsioonide põhjal osutus MYNT EYE S1030 olema laiema vaatenurga, Quad IR tehnoloogia ja stereo RGB kaameratega üks paremaid saadavalolevaid mudeleid selle tootja tootevalikust, ning mitte oluliselt kallim Intel Realsense-ist langes valik just S1030 mudelile. Alljärgneval pildil on kujutatud kaamerate võrdlustabel kõigi esimesse valikusse kaasatud kaameratega (4.7)

Parameeter/Kaamera	Intel Realsense D455	Mynt Eye S210	Mynt Eye S1030	Mynt Eye D1000-120	Mynt Eye D100-50	Mynt Eye P
Resolutsioon	1280x720 / 848x480	1280x400 / 2560x800	752x480 stereo 752x480 depth	2560x720 stereo 1280x720 depth	2560x720 stereo 1280x720 depth	2560x720 video 1280x720 depth
FPS	30/90	60/30	60/60	60/60	60/60	60/60
FOV	86 kraadi H x 57 kraadi V	95 kraadi H x 50 kraadi V	122 kraadi H x 76 kraadi V	105 kraadi H x 58 kraadi V	D:70° H:64° V:38°	75 kraadi H x 40 kraadi V
Miimumkaugus	40cm	50cm	50cm	30cm	30cm	20cm
Tehnoloogia	Active IR stereo	?	Quad IR	Quad IR	Quad IR	?
Hind	239\$	199\$	249\$	PRE ORDER ONLY	299\$	SOLD OUT

**Joonis 4.7.** Oskar III kaamera valikute võrdlustabel

Kui kaamera saabus, ei kujutanud selle sügavuspilt reaalselt maailma. Seetõttu proovis töö autor kaamera püsivara uuendada. Uuendamise programmi vea tõttu eemaldati kaamerast riistvara versiooni väärtus, mistõttu ROS-i näiteprogrammid lakkasid töötamast. Suheldes tootja tugipersonaliga, sai autor nõuande kommenteerida välja saabunud pakettide päise kontrollimine kaamera SDK lähtekoodis ning parandustega versioon uuesti kompileerida. Seejärel hakkas kaamera taas tööle, kuid pildi kvaliteet oli endiselt sama kehv (joonis 4.8).



**Joonis 4.8.** Mynt EYE S1030 punktipilve kvaliteet

Uurides SDK Githubi repositooriumi [19], sai selgeks, et see on laialdane probleem püsivara versiooniga 2.7. Ka varasematele püsivara versioonidele tagasimine ei parandanud ei pildi ega riistvaraversiooni probleemi. Samal ajal hakkas MYNT kaameratege tegelema ka Instagrami kasutaja robotics\_weekends (Andrew), kes koges sama kaameraga sama probleemi, kuid kahjuks ei ole käesolevaks hetkeks ka temaga koostöös antud probleemile lahendust leitud. Tootjapoolseid vastuseid on kohati tulnud oodata mitu nädalat, ning soovitusena taaskord kompileerida SDK. Põhjaliku testimise tulemusena langetati otsus soetada hoopis Intel Realsense D455, kuivõrd tegu on töökindlamate ja toetatavamate seadmetega. ROS modulaarsuse tõttu ei välista töö autor ka hiljem S1030 peale tagasi minekut, kui see peaks tööle hakkama ja lubatud kvaliteedile vastama.

#### **4.2.4 Elektroonikakontroller**

Elektroonikakontroller täidab Oskar III robotis ROS-i draiveri ja füüsiliste täiturite vahelist rolli. Selle eesmärgiks on teostada roboti liigutamine vastavalt ROS draiverist saabuvatele pakettidele, tagastada ros draiverile odomeetria ja hoolitseda puldi kaugjuhtimissignaali vastuvõtmise ja selle järgi roboti liigutamise eest. Elektroonikakontrolleri disainimist on alustatud Atmega328 mikroprotsessoril, eesmärgiga viia see roboti füüsilisel valmimisel üle sama tooteperekonna võimekamale ja rohkem viike omavale Atmega2560 mikroprotsessorile. Sama tooteperekonna kasutamine võimaldab püsivara portida minimaalsete muudatustega. Elektroonikakontrolleri ülesandeks saab olema ROS-ilt käskude vastuvõtt ja nende baasil roboti juhtimine, samuti sellega ühendatud andurite info edastamine ROS-i draiverile ja mootorite nullpunktide leidmine. Lisaks kaugjuhtimispuldi vastuvõtja SBUS signaali teisendamine juhtkäskudeks ja nende põhjal roboti juhtimine, või käskude ROS-ile edastamine. Valik Atmega kontrollerite kasuks sooritati tulenevalt AHHA-s olemasolevast majasisesest pädevusest Atmega seeria seadmete kasutamisel ja käesoleva töö loomise ajal üle maailma suureneva mikrokiibipuuduse tõttu, mis mõjutab pigem teisi protsessoripõlvkondi, eriti tugevalt aga ARM protsessorite kättesaadavust. Elektroonikakontrollerile arendatud tarkvara on leitav GitHubi repositooriumist [20].

#### **4.2.5 Kaugjuhtimine**

Käesoleva töö eesmärkides mainitud uue kaugjuhtimispuldi valik osutus oodatust pikemaks ja keerulisemaks protsessiks. Oskar III jaoks soovitud võimekustega pultide turg osutus väga suureks ning vastu sai võetud otsus valikuga mitte ennatlikult kiirustada ja kaaluda läbi võimalikult palju eri pulte eri hinnaklassides. Kolm selle valiku käigus sõelale jäänud pulti olid DJI Smart Controller, Etlas Mobile V2 ja CUAV MK15. Nende seast esimene väljapraagitu oli DJI Smart Controller - kuigi DJI andmeühendused on teadaolevalt väga stabiilsed ja pulti oleks ka Eestist osta võimalik, ei müü DJI drooni poolset vastuvõtuosa eraldi ja seega saab pulti kasutada vaid nende enda droonidega. Et Etlas Mobile V2 osutus CUAV puldist pea kaks korda kallimaks ja oli värskelt turule tulnud (tutvustusüritus leidis aset Novembris 2020) ning

et CUAV puldiga on kaasas ka kaks ka kaks FPV kaamerat, millega teostada ROS-ist sõltumatu videotagasiside, osutus valik CUAV MK15 puldi Dual Agriculture komplekti kasuks. Järgneb pilt puldist tootja veebilehelt (joonis 4.9) [21].



**Joonis 4.9.** CUAV MK15 kaugjuhtimispult

Antud pult kasutab Android 9 operatsioonisüsteemi, mis teeb lihtsaks graafilise rakenduse arendamise Oskar III juhtimiseks. ROS tuge Androidile võimaldab näiteks *rosjava* [22]. CUAV MK15 Dual Agriculture FPV komplekt sisaldab endas ka kahte 1080p eraldusvõimega 120 kraadise vaatenurgaga kaamerat, mille abil on võimalik realiseerida ROS-draiverist sõltumatu ette- ja tagasisuunaline videotagasiside. Kaugjuhtimispuldi juhtkangide signaalid väljastatakse sellega kaasa tulevast vastuvõtjast SBUS protokolliga kasutades, mis on standardne, peamiselt dronides kasutusel olev protokoll. Eelnevas peatükis 4.1.1 on kirjeldatud ka kaugjuhtimispuldi vastuvõtja ühendused Oskar III sees, loomaks ROS-ist sõltumatu sõitmisvõimekust ja täitmaks nägemisnõuet. Lisaks on heliedastuse nõude täitmiseks liigutatud kogu audio liikuma läbi puldi ja WiFi.

#### **4.2.6 Ultraheli ja infrapunaandurid**

Selleks, et toetada sügavuskaamera informatsiooni ja võimaldada robotil efektiivsemalt vältida kokkupõrkeid on roboti alaossa planeeritud nii ultraheli kui ka infrapunaandurid. Ultraheliandurid on mõeldud kokkupõrgete tuvastamiseks ja infrapunaanduritega tuvastatakse põrandat, et vältida astangutest (näiteks treppidest) alla sõitmist.

## 4.3 Tarkvaralised muudatused

### 4.3.1 ROS draiver

ROS draiver on põhiline osa käesoleva bakalaureusetöö raames valminud tarkvarast. Selle ülesandeks on ROS-i kõrgema taseme lahenduste sidumine konkreetse roboti riistvaraga. Oskar III draiveri loomisel on inspiratsioonina kasutatud TÜ Robotondi draiveri ülesehitust [23]. Robotondi eeskujul on Oskar III draiver üles ehitatud pistikprogrammide (ingl *plugin*) meetodil, kus iga selline pistikprogramm vastutab ühe konkreetse tegevuse eest. Nii on näiteks odomeetria pistikprogrammi ülesandeks elektroonikakontrolleri välja saadetavate odomeetriat sisaldavate pakettide teisendamine erinevateks ROS odomeetriasõnumiteks. Odomeetria teeb võimalikuks näiteks ringi sõitva roboti asendi ja asukoha visualiseerimise ROS Rviz programmi abil. Draiveri tuumaks on riistvarasuhtluse klassid *OskarPacket* ja *BoardComms* [24], mis tegelevad binaarse suhtlusprotokolli pakettide pakendamise ja lahtipakendamisega, ning nende saatmise ja vastuvõtuiga. *BoardComms* klassis implementeeritud vastuvõtmise lahendus tuvastab pakettide algust ja lõppu tähistavaid baite ning märgib nende vahele jäänud info paketiks ja salvestab selle vastuvõetud, kuid veel töötlemata andmete vektorisse. Seejärel võetakse kõik töötlemiseks määratud vastuvõetud andmekogumid ükshaaval ette ja nendega kutsutakse välja klassi *OskarPacket reconstruct* meetodit, mis rakendab andmetele suuruse ja CRC veakontrolli, ning nende läbimisel töötleb saadud infost käsitlemiseks sobiva paketi. Edasi saadab draiveri põhiprotsess kõik lahtivõetud paketid kõikidele pistikprogrammidele töötlemiseks edasi ning pistikprogrammide ülesandeks on ise tuvastada konkreetsele pistikprogrammile töötlemiseks mõeldud info. Arendatud draiverit on edukalt testitud Ubuntu 18.04 kasutava ROS Melodic'uga. Samuti testiti draiverit Ubuntu 20.04 kasutava ROS Noetic'u peal, kuid sel juhul on tarvis eraldi kompileerida Serial kimp, sest ROS Noetic'us ei ole vastav teek enam saadaval. Migratsioon Noetic'u peale ja Serial teegi asendamine ei ole aga käesoleva töö skoobis.

### 4.3.2 ROS draiveri ja elektroonikakontrolleri vaheline suhtlusprotokoll

ROS draiver ja elektroonikakontroller suhtlevad omavahel binaarse protokolliga. See tähendab, et kogu vajaminev info edastatakse vaid numbriliste väärtustena, kasutusel ei ole nt tekstilist ASCII kodeeringut. Pakettide üksteisest eristamiseks on kasutusel samad reserveeritud väärtustega baidid ja *escape* - meetodid, mida kasutab Serial Line Internet Protocol - lühidalt SLIP [25]. Ainus erinevus SLIP standardist on asjaolu, et Oskar III kasutab ka paketi alguse tähistamiseks *END* väärtust  $\text{C0}$ . Kuna selline lähenemine alguse ja lõpu tähistamisele tähendab, et pakettide andmed ei saa sisaldada väärtust  $\text{C0}$ , on SLIP protokollis kasutusel veel kolm väärtust - *ESC*  $\text{DB}$ , *ESC\_END*  $\text{DC}$  ja *ESC\_ESC*  $\text{DD}$ . Asendades konflikteeruvad väärtused paketi sisus *ESC* ja kas *ESC\_END* või *ESC\_ESC* kombinatsiooniga, mille näol on tegemist mujal mitte esinevate teadaolevate baidijärgnevustega, on nende tuvastamisel võimalik konflikte vältida. Veakontrolliks rakendatakse pakettide andmete osale 16-bitist CRC-CCITT'i

polünoomiga  $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ . CCITT on üks laialdasemalt kasutatavaid CRC-sid, ning selle leidmiseks on elektroonikakontrolleri Atmega standardteekides olemas optimiseeritud, assemblerit kasutav funktsioon [26].

Oskar III pakettide ülesehitus paketi väljasaatmise hetkel on kujutatud alljärgneval joonisel 4.10.

**Joonis 4.10.** Oskar III paketi ülesehitus

0	1	2	3-n	n+1	n+2	n+3
END	LEN	CMD	DATA	CRCL	CRCH	END

Jooniselt näeme, et üks pakett koosneb:

- Algust tähistavast baidist
- Pikkuse baidist (andmete pikkus + 1)
- Tüüpi tähistavast käsubaidist
- Andmetest
- CRC16 alumisest baidist
- CRC16 ülemisest baidist
- Lõppu tähistavast baidist

Kõik kasutatavad paketid on ära kirjeldatud ROS draiveri GitHubi repositooriumis [24].

### 4.3.3 MotorPlugin

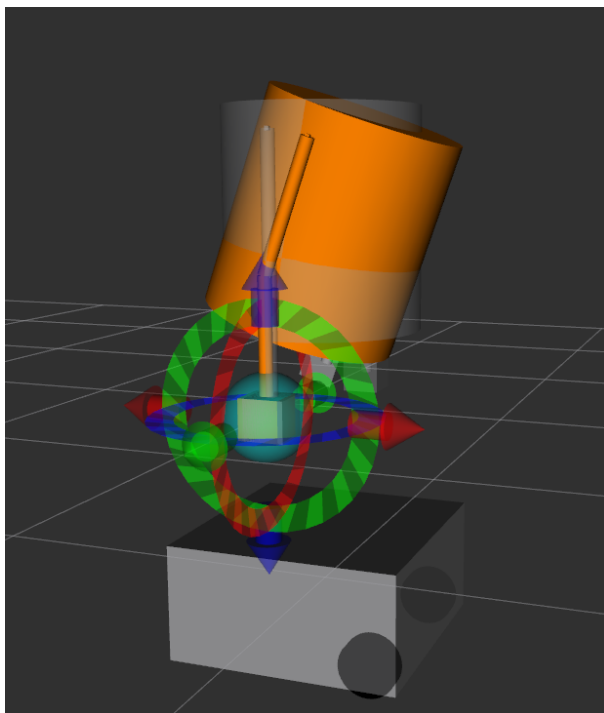
Pistikprogrammi *MotorPlugin* ülesandeks on vastavalt ROS-i standardse *geometry\_msgs/Twist* sõnumi kaudu saabuvatele soovitud kiiruse andmetele arvutada välja Oskar III diferentsiaalseks juhtimiseks mõlema mootori kiirused. Pistikprogramm võtab arvesse nii otse kui ka pöörasteljes soovitud liikumiskiirust, roboti ja mootorite füüsilisi parameetreid ning arvutab välja vajalikud kiirused. Diferentsiaaljuhtimise kood ja arvutuskäigud baseeruvad ROS-i *ros\_controls/ros\_controllers* tarkvarakimbu diferentsiaaljuhtimise implementatsioonil [27].

### 4.3.4 OdometryPlugin

Odomeetria pistikprogramm töötleb elektroonikakontrollerilt saabunud infot roboti reaalse toimimise kohta ja edastab selle ROS-i Rviz programmile visualiseerimiseks. Selleks arvutatakse saabunud rataste kiirustest, mis on ühikutes kraadi sekundis, ROS-is kasutatavad m/s väärtused, ning nende pealt diferentsiaaljuhtimise kinemaatika.

### 4.3.5 ROS MoveIt tugi

Käesoleva bakalaureusetöö raames alustati ka ROS *MoveIt* toe lisamist draiverile. *MoveIt* võimaldab roboteid ja nende manipulaatoreid juhtida arvutist, manipulaatoreid sisuliselt hiirega ringi paigutada. *MoveIt* planeerib soovitud asendisse jõudmiseks kogu roboti liikumise ja täidab selle, saates välja vastavad sõnumid, mille järgi draiver robotit juhib. *MoveIt* toe lisamiseks loodi Oskar III konfiguratsioonikimp [28]. *MoveIt* konfiguratsioon sisaldab hetkel kinemaatilisi ahelaid mõlema käe asendi kontrollimiseks (joonis 4.11). Oskari pea lisandudes on plaanis defineerida ka vastavad kinemaatilised ahelad. Roboti valmimisel on *MoveIt* pooside abil võimalik täita eelprogrammeeritud liigutuste taasesitamise nõue.



**Joonis 4.11.** Oskar III parema käe juhtimine kasutades *MoveIt*-i

## 5. Kokkuvõte

Selle bakalareusetöö eesmärgiks oli luua kaasaegne arhitektuur ja ROS-i tugi AHHA Teaduskeskuse poolhumanoidrobotile Oskar. Eesmärkide saavutamiseks analüüsi varasemate versioonide puudusi ja loodi neist tulenevatele nõuetele vastav uus arhitektuur. Seejärel loodi uue arhitektuuri keskse osana ROS-i draiver. Bakalareusetöö täitis oma eesmärgid ja töö tulemusena on saavutatud kindel vundament roboti juhtimiseks ja kõrgemasemelise funktsionaalsuse lisamiseks roboti valmides. Esitatud nõuded on kas implementatsiooniga täidetud, või on neid võimalik täita sel hetkel, kui robot füüsiliselt valmib - näiteks autonoomse navigeerimise nõue, mille eeldused on olemas, kuid mille täitimiseks hetkel ei ole veel liikuvat veeremit. Samuti ka heli ja pildiedastus, mille seadmed on tellitud, kuid ei ole veel saabunud.

# Tänuavaldused

Veiko Vunder

@robotics\_weekends Andrew

SA Teaduskeskus AHHA, Marko Pirbe, Tanel Linnas, Mihkel Sild, Raivo Uustare, Janno Rootalu





# Kirjandus

- [1] Holly A. Yanco, Adam Norton, Willard Ober, David Shane, Anna Skinner, and Jack Vice. Analysis of human-robot interaction at the darpa robotics challenge trials. *Journal of Field Robotics*, 32(3):420–444, 2015.
- [2] Ambarish Goswami and Prahlad Vadakkepat. *Humanoid robotics: a reference*. Springer, 2019.
- [3] Ye Xie, Bin Lou, Anhuan Xie, and Dan Zhang. A review: Robust locomotion for biped humanoid robots. *Journal of Physics: Conference Series*, 1487:012048, mar 2020.
- [4] James A. Reggia, Garrett E. Katz, and Gregory P. Davis. Humanoid cognitive robots that learn by imitating: Implications for consciousness studies. *Frontiers in Robotics and AI*, 5:1, 2018.
- [5] PhD Sanjit Singh Dang. Artificial intelligence in humanoid robots. *Forbes*, 2019. Kasutatud 10.05.2021.
- [6] Plug & pray. <http://www.plugandpray-film.de/en/>. Kasutatud 10.05.2021.
- [7] Boston Dynamics. Atlas. <https://www.bostondynamics.com/atlas>. Kasutatud 10.05.2021.
- [8] SoftBank Robotics. NAO the humanoid and programmable robot: SoftBank Robotics. <https://www.softbankrobotics.com/emea/en/nao>. Kasutatud 10.05.2021.
- [9] Disney Research. Stuntronics. <https://la.disneyresearch.com/stuntronics/>. Kasutatud 10.50.2021.
- [10] SoftBank Robotics. Pepper the humanoid and programmable robot: SoftBank Robotics. <https://www.softbankrobotics.com/emea/en/pepper>. Kasutatud 10.05.2021.
- [11] Sony. Sony aibo. <https://us.aibo.com/>. Kasutatud 19.05.2021.
- [12] Evan Ackerman. How disney imagineering crammed a humanoid robot into a groot suit. <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/how-disney-imagineering-crammed-a-humanoid-robot-into-a-groot-suit>. Kasutatud 06.05.2021.
- [13] Morgan Quigley. *Programming Robots with ROS*. O’Reilly, 2016.
- [14] David Coleman, Ioan Alexandru Sutan, Sachin Chitta, and Nikolaus Correll. Reducing the barrier to entry of complex robotic software: a moveit! case study. *CoRR*, abs/1404.3785, 2014.
- [15] Merriam-Webster. Robot. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/robot>. kasutatud 10.05.2021.

- [16] National Highway Traffic Safety Administration. <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>. Kasutatud 15.05.2021.
- [17] SA Teaduskeskus AHHAA. Teaduskeskus-ahhaa/oskar\_optocoupler\_pcb. [https://github.com/Teaduskeskus-AHHAA/oskar\\_optocoupler\\_pcb](https://github.com/Teaduskeskus-AHHAA/oskar_optocoupler_pcb).
- [18] Gyems motors. <http://www.gyems.cn/>. Kasutatud 10.11.2020.
- [19] Slightech. slightech/mynt-eye-s-sdk. <https://github.com/slightech/MYNT-EYE-S-SDK>.
- [20] SA Teaduskeskus AHHAA. Teaduskeskus-AHHAA/oskar\_mainboard. [https://github.com/Teaduskeskus-AHHAA/oskar\\_mainboard](https://github.com/Teaduskeskus-AHHAA/oskar_mainboard).
- [21] CUAV Official Store. Cuav siyi mk15 android smart controller. <https://store.cuav.net/shop/cuav-siyi-mk15-uav-mini-hd-handheld-ground-station-15km-range-android-smart-controller/>. Kasutatud 10.05.2021.
- [22] rosjava. <https://github.com/rosjava>.
- [23] Robotont. robotont/robotont\_driver. [https://github.com/robotont/robotont\\_driver](https://github.com/robotont/robotont_driver).
- [24] SA Teaduskeskus AHHAA. OSKAR 3 ROS Driver. [https://github.com/Teaduskeskus-AHHAA/oskar\\_driver](https://github.com/Teaduskeskus-AHHAA/oskar_driver).
- [25] A nonstandard for transmission of ip datagrams over serial lines: slip. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1055>. Kasutatud 15.05.2021.
- [26] avr-libc: : Crc computations. [https://www.nongnu.org/avr-libc/user-manual/group\\_\\_util\\_\\_crc.html](https://www.nongnu.org/avr-libc/user-manual/group__util__crc.html).
- [27] Sachin Chitta, Eitan Marder-Eppstein, Wim Meeussen, Vijay Pradeep, Adolfo Rodríguez Tsouroukdissian, Jonathan Bohren, David Coleman, Bence Magyar, Gennaro Raiola, Mathias Lüdtké, and Enrique Fernández Perdomo. ros\_control: A generic and simple control framework for ros. *The Journal of Open Source Software*, 2017.
- [28] SA Teaduskeskus AHHAA. Teaduskeskus-ahhaa/oskar\_moveit\_config. [https://github.com/Teaduskeskus-AHHAA/oskar\\_moveit\\_config](https://github.com/Teaduskeskus-AHHAA/oskar_moveit_config).

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Rando Hinn,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

**AHHA Teaduskeskuse poolhumanoidroboti Oskar kaasajastamine ja ühildamine ROS tarkvararaamistikuga,**

mille juhendajad on Tanel Linnas ja PhD Veiko Vunder,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. olen teadlik, et punktis 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Rando Hinn,

Tartu, 27. mai 2021. a.

# **Lisa A. Oskar III tark- ja riistvara repositooriumid**

**SA Teaduskeskus AHHA A GitHub**

<https://github.com/Teaduskeskus-AHHA?q=oskar>