

Българска академия на науките
Институт по информационни и комуникационни технологии
Секция: „Киберфизични системи“

автор: маг. инж. ПЕТКО ИВАНОВ СТОЕВ

ДИ С Е Р Т А Ц И Я

за получаване на образователна и научна степен „ДОКТОР“

**Тема: МНОГОЦЕЛЕВИ ТЕЛЕ-УПРАВЛЯЕМ
СЕРВИЗЕН РОБОТ**

научна област: 5. Технически науки

професионално направление: 5.2 Електротехника, Електроника и
Автоматика

Докторска програма: Приложение на принципите и методите на кибернетиката
в различни области на науката

научен ръководител: **проф. д-р Найдено Шиваров**

Българска Академия на Науките – София, *месеца*, 2023

Благодарности

Благодаря на своя научен ръководител проф. д-р Найдено Шиваров, за оказаното съдействие при провеждане на настоящите изследвания и подготовката на дисертацията.

СЪДЪРЖАНИЕ

	стр.
Увод	5
I. ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ	9
1.1. Международни документи, програми и политики и мястото	9
на роботиката и сервизните работи в тях	
1.2. Приложение на многоцелевите теле-управляеми мобилни работи	25
1.3. Основни характеристики на многоцелевите теле-управляеми	
сервизни работи.....	27
1.4. Системи на сервизните работи.....	28
1.5 Механична съвместимост.....	30
1.6 Механични системи за придвижване на мобилните работи	31
1.7 Дизайн и ергономия на работи	42
1.8 Комуникация при сервизните теле-управляеми работи	46
1.9 Телеуправление на сервизните работи	58
1.10 Взаимодействие човек-робот в контекста на многоцелевите теле-	
управляеми сервизни работи	60
II. ДИЗАЙН НА МНОГОЦЕЛЕВИ ТЕЛЕ-УПРАВЛЯЕМ МОБИЛЕН РОБОТ.....	63
2.1 Механичен дизайн.....	63
2.1.1 Универсална мобилна платформа на многоцелевия робот.....	63
2.1.2 Модули на многоцелевия робот	64
2.1.2.1 Модул с повдигаща платформа	64
2.1.2.2 Модул с ротационна маса	65
2.1.2.3 Почистващ модул	67
2.1.2.4 Модул с ножичест подежник	72
2.1.2.5 Модул с антропоморфен робот Нирьо.....	73
2.2 Задвижване и изпълнителни механизми.....	75
2.3 Сензорна система.....	76
2.4 Промислен дизайн на работа	79
III. УПРАВЛЕНИЕ НА МНОГОЦЕЛЕВИЯ СЕРВИЗЕН РОБОТ - АЛГОРИТМИ,	

СИМУЛАЦИИ, РЕЗУЛТАТИ	82
3.1 Дистанционно управление на теле-управляема	82
многофункционална мобилна роботизирана платформа чрез уеб	
базиран графичен интерфейс, посредством MQTT и уеб сокети	
3.2 Управление на работа в режим за доставяне на лекарства.....	88
в здравни заведения сигнализация	
3.3 Управление на работа в режим обход, наблюдение, охрана и.....	99
и сигнализация	
3.4 Управление на работа в режим за транспортиране и издигане	101
на товари чрез ножичест подежник	
3.5 Управление на работа в режим за складиране и доставка	109
на продукти посредством повдигаща платформа	
3.6 Управление на работа в режим на почистване	116
3.7 Управление на работа с прикрепен модул с антропоморфен робот	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ.....	135
ЛИТЕРАТУРА	136
ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОРИГИНАЛНОСТ.....	144
ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННАТА ТЕМА.....	145

УВОД

Многоцелевите теле-управляеми сервизни работи са мултидисциплинарна област, включваща роботика, взаимодействие човек-компютър, комуникационни технологии, правни и етични норми. От научна гледна точка те представляват значителен напредък в областта на високите технологии. Разработването им е резултат от съвременните достижения в комуникациите, мехатрониката, киберфизичните системи, изкуствения интелект и т.н., които позволиха създаването на високотехнологични системи. Многоцелевият теле-управляем сервизен робот е универсална роботизирана система, предназначена да изпълнява широк спектър от задачи и услуги в различни области и сфери, като същевременно се управлява дистанционно от човек - оператор.

Със своята адаптивност, възможности за дистанционно управление и гъвкавост многоцелевите сервизни работи с телуправление имат приложение в широк спектър от области - производство, строителство, селско стопанство, телемедицина и здравеопазване, образование, сигурност и наблюдение, мониторинг на околната среда, логистика и складиране, енергиен сектор, дистанционни проучвания, в това число изследвания на космоса и океаните, инспекция и поддръжка на инфраструктурата, опасни среди и засегнати от бедствия райони, сондиране и добив на ресурси и др.

Актуалност на темата на дисертацията

Роботиката и в частност многоцелевите теле-управляеми сервизните работи са важна част от стратегическите политики и документи за развитие на технологичния отрасъл: „Общество 5.0“, „Индустрия 4.0“, „Индустрия 5.0“, ПРОГРАМА 2030 на ООН, Стратегическа програма на Европейската комисия за периода 2019-2024, „2030 Цифров компас: европейският път за цифровото десетилетие“, "Европейска цифрова стратегия", "Европа, пригодена за цифровата ера", Програма "Хоризонт Европа", Европейската зелена сделка, План за действие за кръговата икономика на ЕС. Развитието и внедряването на роботите е основен фактор за напредъка на технологиите, подобряването на безопасността, повишаването на ефективността и справянето с важни обществени, икономически и екологични предизвикателства. Като бързоразвиваща се сфера многоцелевите теле-управляеми сервизни работи ще имат все по-голямо присъствие и ще играят все по-важна роля в съвременния свят. Това поставя съществен акцент върху разработването и

разширяването диапазона на приложение на многоцелеви теле-управляеми сервизни работи и определя темата на дисертацията за актуална и значима.

Обект и предмет на изследване

Обект на изследване в настоящия дисертационен труд са многоцелевите теле-управляеми сервизни работи.

Предмет на изследване в дисертацията е разработването на многоцелевите телеуправляеми сервизни работи в трудовата дейност на хората.

Цел и задачи

Целта на дисертационния труд е разработването на многоцелеви теле-управляем сервизен робот за подобряване условията на работа и подпомагане трудовата дейност на хората в различни работни среди, а именно болнични заведения, складови помещения, производствени обекти, животновъдни ферми, магазини и търговски обекти.

Постигането на поставената цел е свързано с изпълнението на следните конкретни задачи:

1. Запознаване с основните характеристики и специфични особености на телеуправляемите сервизни работи
2. Проектиране на основните компоненти на механичния дизайн на робота:
 - Универсална мобилна платформа
 - Модул с повдигаща платформа
 - Модул с ротационна маса
 - Почистващ модул
 - Модул с ножичест подежник
 - Модул с антропоморфен робот Niryu
3. Избор на задвижване, изпълнителни механизми и сензорна система на робота
4. Разработване на промишлен дизайн на робота
5. Разработване на дистанционно управление на телеуправляемата многофункционална мобилна роботизирана платформа
6. Управление на режимите на работа на многоцелевия робот

- Задаване последователност на изпълнение на отделните режими на работа на многоцелевия робот
- Разработване на софтуер и хардуер на отделните модули

Структура и съдържание на дисертацията

Настоящата дисертация е структурирана както следва:

УВОД: Представа актуалността на темата на дисертационния труд, обекта, предмета, целта и задачите

ГЛАВА 1: Разгледани са основните аспекти на механиката и дизайна на многоцелевите теле-управляеми сервизни роботи, в това число специфичните особености и системите на сервизните роботи, механична съвместимост и механичните системи за тяхното придвижване, дизайнът и ергономията на роботите, комуникация при сервизните теле-управляеми роботи. Посочена е спецификата на взаимодействието човек-робот в контекста на многоцелевите теле-управляеми сервизни роботи.

ГЛАВА 2: В Глава втора е представен дизайнът на разработения многоцелеви теле-управляем сервизен робот. Подробно са описани механичната система на робота, неговото задвижване и изпълнителни механизми, сензорната му система и реализирания дизайн.

ГЛАВА 3: В Глава трета е представено управлението на многоцелевия робот, като за всеки режим и избран модул са разработени от докторанта алгоритъм на работа, софтуер и хардуер на управление. Разгледано е дистанционното управление на телеуправляемата многофункционална мобилна робот-платформа. Проведени са симулации в компютърна среда, на базата на които са верифицирани алгоритмите за управление.

Постигането на поставената цел е свързано с изпълнението на следните конкретни задачи:

1. Запознаване с основните характеристики и специфични особености на телеуправляемите сервизни роботи
2. Проектиране на основните компоненти на механичния дизайн на робота:
 - Универсална мобилна платформа
 - Модул с повдигаща платформа
 - Модул с ротационна маса
 - Почистващ модул
 - Модул с ножичест подежник

- Модул с антропоморфен робот Нирьо
- 3. Избор на задвижване, изпълнителни механизми и сензорна система на работа
- 4. Разработване на промишлен дизайн на работа
- 5. Разработване на дистанционно управление на телеуправляемата многофункционална мобилна роботизирана платформа
- 6. Създаване на работни режими на работа
- Разработване на алгоритми за управление
- Съставяне и реализиране на компютърни симулации и верифициране на алгоритмите за управление

1.1 Международни документи, програми и политики и мястото на роботиката и сервизните работи в тях.

Някои от водещите концепции и политики и кореспондиращите с тях планове, програми, цели и задачи на международно и глобално ниво, които направляват и насочват развитието на технологичния отрасъл са: „Общество 5.0“, „Индустрия 4.0“, „Индустрия 5.0“, ПРОГРАМА 2030 на ООН, Стратегическа програма на Европейската комисия за периода 2019-2024, „2030 Цифров компас: европейският път за цифровото десетилетие“, "Европейска цифрова стратегия", "Европа, пригодена за цифровата ера", Програма "Хоризонт Европа", Европейската зелена сделка, План за действие за кръговата икономика на ЕС.

1.1.1 Общество 5.0:

Общество 5.0 е концепция за бъдещото общество, първоначално предложена от японското правителство през 2016 г. Идеята възниква в отговор на проблемите, пред които е изправено японското общество, като намаляваща работна сила, застаряващо население и намаляваща раждаемост. Чрез интегриране на цифровите технологии във всяка област от живота на хората, Обществото 5.0 възнамерява да използва технологиите, за да изгради по-добро бъдеще за всички.[72] Общество 5.0 е концепция, която се основава на последните четири велики периода на човешката цивилизация. Първият период е епохата на лова и събирането, последвана от земеделската, индустриалната и информационната епоха. Общество 5.0 е замислено като следващата фаза на човешката цивилизация, в която технологиите се използват за изграждане на по-устойчиво и ефективно общество. Обединяването на реалния и цифровия свят е ключов компонент на Общество 5.0. Това е възможно благодарение на модерни технологии като изкуствен интелект, интернет на нещата и роботи. Самоуправляващите се автомобили например, които взаимодействат със светофарите и другите превозни средства на пътя, са пример за интеграция на физическите и цифровите технологии.

Друга важна характеристика на Общество 5.0 е акцентът върху дизайна, ориентиран към човека. Това означава, че технологиите са предназначени да отговарят на изискванията на хората, като същевременно подобряват качеството им на живот. Например, създават се роботи, които да помагат на хората в домакинството, грижите за децата и възрастните хора.

Целта е да се използват технологиите, за да се подобри животът на хората и обществото да стане по-приобщаващо.

Сътрудничеството и „съвместното създаване“ също са ключови елементи в Общество 5.0. Това означава, че хората, корпорациите и правителствените агенции си сътрудничат, за да разработват иновативни технологии, стоки и услуги, които отговарят на обществените изисквания. Например, създават се проекти за отворени иновации, които насърчават сътрудничеството между стартиращи фирми, предприятия и институции.

Като цяло Общество 5.0 е визия за технологично усъвършенствано, ефективно и устойчиво общество, което използва технологиите за подобряване на бъдещето на всички. Макар да е възникнала в Япония, концепцията за Общество 5.0 е приложима за страните по света, тъй като те се сблъскват със сходни трудности като застаряващо население, намаляваща раждаемост и необходимост от устойчиво развитие.

Концепцията Общество 5.0 подчертава значението на технологиите, особено на роботиката, за изграждането на устойчиво и ефективно общество. Роботите могат да помогнат за постигането на поставените цели чрез увеличаване на производството, подобряване на качеството на живот и решаване на социални проблеми. Основни области на приложение на роботите в концепция Общество 5.0 са здравеопазване, промишлено производство, селско стопанство, градска инфраструктура, образование.

Със застаряването на населението се увеличава търсенето на възможни решения за осигуряване на грижи и подкрепа на възрастните хора и хората с увреждания. Роботите могат да бъдат в ефикасен помощник при изпълнението на задачи като хранене, придвижване и прием на лекарства. Те могат също така да осигурят компания и емоционална подкрепа на хората, които са в социална изолация. Роботите могат да са и част от провежданите медицински грижи, като следят жизнените показатели, дават лекарства и подпомагат рехабилитацията. Роботизираните екзоскелети например могат да помагат на хората с ограничена подвижност да ходят, като премахват необходимостта от ръчна помощ от страна на други хора.

Промисленото производство е друга област, в която се предвижда роботите да играят съществена роля. Понастоящем те се използват широко в производството и се очаква тяхната позиция в Общество 5.0 да се разшири. Тяхното приложение е свързано с извършване на повтарящи се или опасни операции, като заваряване, боядисване, сглобяване,

транспортиране и вдигане на тежки товари в производството, логистиката и строителството. Освен това сервизните роботи могат да работят денонощно, което допринася за увеличаване на производителността. Внедряването на роботите в производството освобождава хората от извършване на монотонни, повтарящи се или рискови дейности и позволява те да се концентрират върху решаването на по-сложни и творчески задачи.

Селското стопанство също може да се възползва от използването на роботи за повишаване на производството и ефективността и елиминиране на необходимостта от физически труд. Роботите-автономни трактори могат да се използват за прецизно земеделие и да спомогнат за увеличаване на добивите и намаляване на отпадъците в селското стопанство. С безпилотни самолети могат да се извършва наблюдение на културите за установяване на нападения от насекоми или недостиг на хранителни вещества и за предоставяне на данни за по-целенасочено прилагане на торове и пестициди.

Роботите могат да се използват за подобряване на качеството на живот в градовете. Автономните автомобили и дронове например могат да се използват за транспорт, като намаляват задръстванията и замърсяването на въздуха. В Общество 5.0 се предвижда автономните превозни средства като автомобили и камиони да стават все по-разпространени. Те могат да спомогнат за намаляване на задръстванията по пътищата, повишаване на безопасността и намаляване на транспортните разходи. Безпилотните самолети могат да се използват за доставка на продукти и услуги, като намаляват необходимостта от човешки труд и свеждат до минимум транспортните разходи.

Прилагането на роботи в сферата на образованието е силно застъпено в "Общество 5.0", като част от възможностите за неговото подобряване. Предвижда се образователните роботи да могат да се адаптират към различни стилове на учене, да предоставят персонализирано обучение и да помагат на деца с увреждания. Един робот-наставник например може да общува с ученик, като му предлага коментари и насоки за работата му.

1.1.2. Индустрия 4.0:

Терминът "Индустрия 4.0" се отнася до четвъртата индустриална революция, която символизира значителна трансформация в производствената индустрия. [2] Тя включва съвременни цифрови технологии в промишлените процеси, като например интернет на нещата (IoT), изкуствен интелект (AI) и роботика. Една от основните цели на Индустрия 4.0 е да се изгради по-свързана и автоматизирана производствена среда, която да може да

реагира бързо на променящите се нужди на клиентите и пазарната ситуация посредством цифровите технологии и като резултат да се увеличи производителността, да се намалят разходите и да се подобри качеството.

Роботиката е важен компонент на Индустрия 4.0, тъй като дава възможност за автоматизиране на множество производствени операции. По-специално сервизните роботи набират популярност в производството и логистиката, тъй като предоставят гъвкава и мащабируема алтернатива за автоматизиране на операции в различни условия. Те се използват за различни дейности, включително обработка на материали, сглобяване и проверка. Сервизните роботи могат да бъдат оборудвани с различни сензори и технологии, като камери и лидар, които им помагат да се ориентират и да взаимодействат със заобикалящата ги среда. В Индустрия 4.0 се използват също анализ на данни и машинно обучение за подобряване на производствените процеси и оптимизиране на работата на сервизните роботи. Данните, придобити от сервизните роботи, например, могат да се използват за откриване на модели и оптимизиране на производствените процеси, което води до повишаване на ефективността и производителността. В допълнение към тези технологии Индустрия 4.0 включва използването на дигитални близнаци, които представляват виртуални изображения на действителни продукти или системи. Производствените дигитални близнаци могат да се използват за моделиране и оптимизиране на процесите, предвиждане на производителността и намиране на области за подобрене.

Понятието "Индустрия 4.0" е тясно свързано с цифровата трансформация на производствената индустрия, която има за цел да повиши ефективността, да намали разходите и да подобри качеството чрез използване на цифрови технологии. Предвижда се мобилните роботи, които осигуряват гъвкаво и мащабируемо решение за автоматизиране на множество промишлени и логистични операции, да играят голяма роля в тази революция. Индустрия 4.0 обхваща промяна на парадигмата към интелигентни операции, където хората не трябва да бъдат заменени от изкуствен интелект, роботика и автоматизация, а „техните възможности трябва да бъдат подобрени чрез интелигентно проектиране на персонализирани решения“. Това ще даде възможност на процесите да постигнат по-високи нива на безопасност, подобрена производителност и намалено когнитивно натоварване на човешките оператори, които са основни съставки на интелигентните технологични интерфейси в Индустрия 4.0.

Симбиозното взаимодействие между човека и робота е ключът към интелигентната роботизирана среда в Индустрия 4.0. Интелигентните роботи и съвместното взаимодействие се интегрират, за да образуват киберфизични системи (CPS). В публикация Thoben et al. (2017) се посочва:

"Роботизираните киберфизични системи могат да позволят такова сътрудничество между хора и роботи с характеристиките на динамично планиране на задачите, активно избягване на сблъсъци и адаптивно управление на роботите. Хората са част от дизайна на киберфизичните системи, при който са възможни човешки инструкции към роботите чрез реч, знаци или жестове на ръцете по време на съвместна работа по манипулиране, сглобяване, опаковане, обработка на храни или други задачи."

1.1.3. Индустрия 5.0

Индустрия 5.0 е сравнително нова концепция, която представлява следващата фаза на индустриалното развитие след Индустрия 4.0. Виждането на Европейския съюз за оформянето на Индустрия 5.0 е съсредоточено около ценности, ориентирани към човека, екологията и социални ползи. Докато Индустрия 4.0 се фокусира върху цифровизацията на производствените процеси, Индустрия 5.0 набляга на интегрирането на хора и роботи в производствения процес, за да се създаде колаборативна и гъвкава система, в чийто център е човека. Индустрия 5.0 е не само историческо продължение или алтернатива на модела Индустрия 4.0. Сходно на концепцията за Обществото 5.0 се стреми да постави човека в центъра на иновациите, като използва влиянието на технологиите и резултатите от Индустрия 4.0 с технологична интеграция за повишаване на качеството на живот, социалната отговорност и устойчивостта. Тази новаторска гледна точка споделя някои цели с Целите за устойчиво развитие на ООН.

Индустрия 5.0 има за цел да съчетае силните страни на хората и роботите в производствения процес. Хората са отлични в задачите, които изискват творчество, решаване на проблеми и вземане на решения, докато роботите са ефективни в повтарящите се и прецизни задачи. Чрез интегрирането на хората и роботите в производствения процес Индустрия 5.0 може да създаде по-гъвкава и адаптивна производствена система, която може бързо да реагира на променящите се пазарни изисквания.

Индустрия 5.0 също така подчертава значението на устойчивостта и екологичната отговорност в производствения процес. Чрез интегрирането на възобновяеми енергийни

източници и намаляването на отпадъците и емисиите, Индустрия 5.0 може да създаде по-устойчива и екологична производствена система.

Прилагането на Индустрия 5.0 ще изисква нови технологии, като например колаборативни роботи, изкуствен интелект и интернет на нещата (IoT). Тези технологии ще позволят интегрирането на хора и роботи в производствения процес и ще дадат възможност за по-гъвкави и адаптивни производствени системи.

1.1.4. Умни градове:

Умните градове са градски региони, в които се използват сложни технологии и креативни начини за подобряване на качеството на живот на жителите, насърчаване на устойчивото развитие и оптимизиране на използването на ресурсите. Умните градове се изграждат чрез комбиниране на различни цифрови и физически технологии и инфраструктура, за да се създаде ефективна и свързана градска среда. В умните градове се събират и анализират данни от много източници, включително сензори, устройства и данни от гражданите и се включват технологии като интернет на нещата, изкуствен интелект и анализ на големи обеми от данни. Тези данни се използват за оптимизиране на градските операции, минимизиране на използването на ресурси и подобряване на качеството на услугите. Интелигентните транспортни системи, които използват данни в реално време за подобряване на транспортния поток и намаляване на задръстванията, са един от примерите за програма за умен град. Технологията на умния град може да се използва и за подобряване на обществената безопасност чрез внедряване на интелигентни системи за наблюдение, способни да откриват и реагират на събития в реално време.[10],[66] Устойчивостта и опазването на ресурсите са ключови приоритети в интелигентните градове. Технологията на умния град например може да се използва за наблюдение и оптимизиране на използването на енергия в сградите, както и за по-ефективно управление на отпадъците. Някои умни градове дори експериментират с възобновяеми енергийни източници като слънчева и вятърна енергия. Европейският съюз е създал много програми за подпомагане на развитието на умни градове, включително програмата "Хоризонт 2020", която финансира научни изследвания и иновации в областта на технологиите за умни градове. Инициативата "Умни градове и общности" на Европейския съюз има за цел да създаде мрежа от умни градове в Европа, която да обменя опит и най-добри практики при създаването и изпълнението на инициативи за интелигентни градове.

Сервизните роботи имат потенциала да играят решаваща роля в развитието на умните градове. Те могат да бъдат използвани за различни цели, включително за логистика, услуги за доставка и дейности по поддръжка. Мобилните роботи, например, могат да се използват за доставка на продукти и консумативи в целия град, като по този начин се свежда до минимум необходимостта от масови превозни средства и произтичащите от това задръствания. Сервизните роботи могат да се използват и за наблюдение и поддръжка, включително за проверка на обществена инфраструктура като мостове и тунели и за почистване на улици и обществени места. Това може да спомогне за намаляване на разходите и повишаване на ефективността на дейностите по поддръжка на градовете. Освен това сервизните роботи могат да се използват за подобряване на обществената безопасност и сигурност. Например мобилните роботи за сигурност, оборудвани с камери и сензори, могат да патрулират на обществени места и да търсят подозрителни дейности или възможни рискове за сигурността.

Като цяло сервизните роботи могат да помогнат на умните градове да станат по-ефективни, устойчиви и удобни за живеене, като предоставят подобрени услуги в областта на логистиката, поддръжката и сигурността.

1.1.5. Програма 2030 на ООН

Програма 2030 е глобален план за действие, приет от Организацията на обединените нации (ООН) през 2015 г. Целите за устойчиво развитие са свързани с решаване на най-неотложните икономически, социални и екологични проблеми в света до 2030 г. Програмата до 2030 г. се състои от 17 взаимосвързани цели и 169 задачи, които се очаква да бъдат изпълнени от правителствата, промишлеността, гражданското общество и хората. Сред 17-те цели за устойчиво развитие са бедността, гладът, здравеопазването, образованието, равенството между половете, чистата вода и канализацията, достъпната и чиста енергия, достойният труд и икономическият растеж, промишлеността, иновациите и инфраструктурата, намаляването на неравенствата, устойчивите градове и общности, отговорното потребление и производство, действията в областта на климата, животът под водата, животът на земята, мирът, справедливостта и силните институции, както и партньорствата за развитие.

В контекста на Програма 2030, сервизните роботи могат да помогнат за изпълнението на целите за устойчиво развитие по различни начини. Те могат да допринесат за подобряване

на производството и дистрибуцията на храни, за свеждане до минимум на отпадъците и за подобряване на ефективността на транспорта и логистиката. Могат да се използват и в селски или слабо развити места за предоставяне на здравни грижи, образование и устойчиви енергийни решения. Освен това сервизните работи могат да допринесат за повишаване на устойчивостта на градовете и общностите чрез подобряване на транспорта и логистиката, намаляване на емисиите и подпомагане на управлението на градската инфраструктура. Също така могат да насърчават отговорното потребление и производство, като правят процесите в промишлеността и веригата за доставки по-ефективни и устойчиви. В допълнение към тези примери мобилните работи и други усъвършенствани технологии могат да подпомогнат пряко или косвено постигането на много от другите цели за устойчиво развитие. От решаващо значение обаче е да се гарантира, че внедряването и използването им се управлява от устойчиви и етични стандарти, така че да не се изострят настоящите социални и екологични проблеми.

1.1.6. Стратегическа програма на Европейската комисия за периода 2019-2024

Стратегическата програма на Европейската комисия за периода 2019-2024 е организирана около пет основни приоритета: Европейска зелена сделка; Европа, пригодена за цифровата ера; Икономика, която работи за хората; Една по-обединена и ефективна Европа на световната сцена; Насърчаване на европейските ценности и права. [39],[73],[74] Чрез намаляване на емисиите, подкрепа за устойчив растеж и инвестиции в зелени технологии и иновации Комисията се надява до 2050 г. Европа да стане първият в света континент с неутрален климат. Комисията се стреми да насърчава цифровата трансформация във всички области на икономиката и обществото, включително създаването на единна рамка за управление на данните, развитието на изкуствения интелект и повишаването на киберсигурността. Цел на Комисията е да направи европейската икономика по-конкурентоспособна, по-приобщаваща и по-справедлива, като насърчава инвестициите, иновациите и предприемачеството и същевременно гарантира социална и екологична устойчивост. Комисията се стреми да насърчи една по-обединена и ефективна Европа на световната сцена, като подкрепя многостранните отношения, изгражда връзки със съседните държави и насърчава демокрацията, правата на човека и върховенството на закона. Цел на Комисията е да защитава и насърчава ценностите и правата, установени в учредителните

договори на Европейския съюз, като зачитането на човешкото достойнство, свободата, демокрацията, равенството, правовата държава и правата на човека.

1.1.7. "Европейска цифрова стратегия", "Европа, пригодена за цифровата ера", " 2030 цифров компас: европейският път за цифровото десетилетие"

"2030 цифров компас: европейският път за цифровото десетилетие" е нова политическа инициатива, която беше лансирана от Европейската комисия през март 2021 г. В нея се излага визията на ЕС за цифровата трансформация през следващото десетилетие и се включват конкретни цели за 2030 г. Компасът е изграден върху четири стълба: умения, инфраструктура, обществени услуги и цифровизация на предприятията. „Цифровият компас за 2030 г.“ е ключова политическа инициатива на Европейския съюз, насочена към направляване на цифровата трансформация на ЕС през следващото десетилетие. [75] Инициативата очертава набор от амбициозни цели и приоритети за цифровата икономика и цифровото общество на ЕС, с акцент върху изграждането на по-устойчиво, устойчиво и приобщаващо цифрово бъдеще за всички европейци.

"Европа, пригодена за цифровата ера" е по-широка политическа инициатива на Европейския съюз, чиято цел е да гарантира, че Европа може да се възползва напълно от цифровата трансформация. Тя включва редица области на политиката, като цифрови умения, цифрова инфраструктура и цифрови обществени услуги, както и области като киберсигурност, защита на данните и регулиране на онлайн платформите. Инициативата беше стартирана от Европейската комисия през 2019 г. и служи като рамка за политиките и инициативите на ЕС в областта на цифровите технологии.

"Европейската цифрова стратегия", от друга страна, е конкретен политически документ, приет от Европейската комисия през 2020 г., в който се определят визията и приоритетите на ЕС за цифровата трансформация. Стратегията очертава набор от действия и мерки, които да помогнат на Европа да се превърне в световен лидер в областта на цифровата икономика и общество, с акцент върху области като данни, изкуствен интелект и киберсигурност. Стратегията включва и конкретни предложения за законодателство и инициативи в подкрепа на изпълнението на нейните цели.

Както "Европа, пригодена за цифровата ера", така и "Европейската цифрова стратегия" са от значение за сервизните работи и тяхното разработване и внедряване в Европейския съюз. Сервизните работи са ключова част от цифровата трансформация и се

очаква те да играят все по-важна роля в различни сектори като производството, логистиката, здравеопазването и селското стопанство. По този начин политиките и стратегиите на ЕС, насочени към насърчаване на цифровата трансформация и подпомагане на развитието на цифровите технологии, вероятно ще окажат въздействие върху разработването и използването на мобилни роботи в Европа. "Европейската стратегия в областта на цифровите технологии" включва конкретни действия, насочени към насърчаване на развитието на технологиите за изкуствен интелект, които са ключова технология, позволяваща използването на мобилни роботи. Стратегията включва и мерки за насърчаване на цифровите умения и цифровата инфраструктура, които са важни за разработването и внедряването на мобилни роботи в различни сектори. "Европа, пригодена за цифровата ера" включва политики, насочени към насърчаване на цифровите умения и цифровата инфраструктура, които са от значение и за разработването и внедряването на мобилни роботи. Усъвършенстването на цифровите умения е важно за внедряването и използването на сервизни роботи, тъй като операторите трябва да притежават необходимите технически познания и опит, за да управляват и поддържат тези машини. По подобен начин цифровата инфраструктура, като например високоскоростни мрежи и 5G, е важна за разгръщането и комуникацията на сервизните роботи. "Европейската стратегия в областта на цифровите технологии" включва конкретни действия, насочени към насърчаване на развитието на технологиите за изкуствен интелект, които са ключова технология, позволяваща използването на мобилни роботи. Стратегията включва и мерки за насърчаване на цифровите умения и цифровата инфраструктура, които са важни за разработването и внедряването на севизни роботи в различни сектори.

Цифровият компас очертава четири основни приоритетни области за действие:

- Цифрово квалифицирано население и висококвалифицирана цифрова работна сила

Този приоритет има за цел да гарантира, че всички европейци разполагат с уменията, които са им необходими за пълноценно участие в цифровата икономика и общество. Инициативата включва цели за подобряване на цифровите умения сред населението и насърчаване на развитието на висококвалифицирана цифрова работна сила.

- Сигурна и устойчива цифрова инфраструктура

Този приоритет има за цел да гарантира, че ЕС разполага със сигурна и устойчива цифрова инфраструктура, която може да поддържа нарастващото търсене на цифрови услуги.

Инициативата включва цели за увеличаване на инвестициите в цифровата инфраструктура и насърчаване на използването на устойчиви технологии.

- Цифрова трансформация на предприятията

Този приоритет има за цел да насърчи въвеждането на цифрови технологии сред европейските предприятия, с акцент върху малките и средните предприятия (МСП). Инициативата включва цели за увеличаване на дела на МСП, използващи цифрови технологии, и за насърчаване на развитието на цифрови екосистеми, които могат да подпомогнат растежа им.

- Цифрови обществени услуги

Този приоритет има за цел да подобри качеството и достъпността на обществените услуги в цифровата ера, като се фокусира върху насърчаването на използването на цифрови технологии за подобряване на достъпа на гражданите до информация и услуги. Инициативата включва цели за увеличаване на използването на цифрови обществени услуги и насърчаване на развитието на оперативно съвместими цифрови системи в целия Европейски съюз.

Цифровият компас има далечни перспективи за научните изследвания и приемането на роботиката в Европа. Програмата може да спомогне за гарантирането на достатъчен брой кадри, които да подпомогнат разрастването на сектора на роботиката, като наблегне на развитието на цифрови умения и висококвалифицирана цифрова работна сила. По същия начин, като насърчава изграждането на безопасна и дългосрочна цифрова инфраструктура, проектът може да насърчи атмосфера, благоприятстваща внедряването на работи и други цифрови технологии.

- Цифрови решения в областта на здравеопазването

Пандемията COVID-19 демонстрира потенциала и подготви почвата за широкото прилагане на нови технологии за телемедицина, дистанционни грижи и роботика за защита на медицинския персонал и подпомагане на пациентите, които получават дистанционно лечение у дома. Гражданите могат да използват цифровите технологии, за да наблюдават здравословното си състояние, да променят начина си на живот, да насърчават независимия живот, да избягват незаразни болести и да подобряват ефективността на доставчиците на здравни услуги и грижи и на здравните системи. Гражданите ще използват технологии, които им помагат да продължат активния си професионален живот с напредването на възрастта, а

здравните специалисти и болногледачите ще могат да се възползват изцяло от предимствата на цифрово свързаните здравни решения за наблюдение и лечение на своите пациенти.

- Цифрова трансформация на бизнеса

Възприемането на цифровите технологии стана критично важно за много организации по време на епидемията COVID-19. Повече от просто помощни средства, цифровите технологии като 5G, интернет на нещата, крайни изчисления, изкуствен интелект, роботика и разширена реалност ще бъдат в основата на нови продукти, производствени процеси и бизнес модели в икономиката на данните до 2030 г. В тази връзка предложенията на Комисията за цифровия единен пазар и стратегиите "Формиране на цифровото бъдеще на Европа" ще ускорят цифровата трансформация на предприятията и ще осигурят справедлива и конкурентоспособна цифрова икономика.

Потенциалът на цифровата трансформация за пет ключови екосистеми:

- Производство: Благодарение на 5G свързаността устройствата в заводите ще бъдат още по-свързани и ще събират индустриални данни. Изкуственият интелект ще инструктира роботите в реално време, като ги прави все по-кооперативни, подобрявайки работните места, безопасността, производителността и благосъстоянието на работниците. Благодарение на цифровите близнаци, новите материали и 3D принтирането, производителите ще могат да подобрят прогнозната поддръжка и да произвеждат при поискване, в зависимост от нуждите на потребителите, с нулеви запаси.
- Здравеопазване: Въвеждането на повече онлайн взаимодействие, безхартиени услуги, електронно предаване и достъп до данни вместо хартиени записи и автоматизация може да доведе до ползи в размер до 120 млрд. евро годишно в Европа.
- Строителство: Най-ниското развитие на производителността от всички основни сектори през последните 20 години. 70% от ръководителите в строителството посочват новите производствени технологии и цифровизацията като двигатели на промените в сектора.
- Селско стопанство: Цифровите технологии в земеделието могат да позволят на селскостопанския сектор да произвежда по-приспособено и по-ефективно, като по този начин се повишат показателите за устойчивост и конкурентоспособност на сектора. Селското стопанство е определено като един от ключовите сектори, в който цифровите решения могат да помогнат за намаляване на глобалните емисии на парникови газове и употребата на пестициди.

- Мобилност: Цифровите решения за свързана и автоматизирана мобилност имат голям потенциал за намаляване на пътнотранспортните произшествия, повишаване на качеството на живот и подобряване на ефективността на транспортните системи, включително по отношение на техния екологичен отпечатък.

1.1.8. Програма „Хоризонт Европа“

Важна инициатива е "Хоризонт Европа" - програмата на ЕС за научни изследвания и иновации за периода 2021-2027г. [76] Програмата "Хоризонт Европа" включва редица възможности за финансиране на научни изследвания и иновации в области като роботиката, изкуствения интелект и интернет на нещата (IoT). Като подкрепя авангардни изследвания в тези области, ЕС има за цел да насърчи разработването и внедряването на нови технологии, като същевременно насърчава сътрудничеството между изследователите, промишлеността и други заинтересовани страни.

1.1.9. Европейска зелена сделка

Европейската зелена сделка е друг важен политически приоритет за Европейския съюз, с редица инициативи, насочени към насърчаване на устойчив икономически растеж и намаляване на емисиите на парникови газове [11]. Роботиката и други цифрови технологии могат да играят важна роля за постигането на тези цели, като позволяват по-ефективно използване на ресурсите, намаляване на отпадъците и насърчаване на въвеждането на чиста енергия. Например, роботите могат да се използват в производството и логистиката за намаляване на потреблението на енергия и оптимизиране на производствените процеси, като същевременно подобряват условията на труд на служителите.

1.1.10. План за действие за кръговата икономика

Планът за действие за кръговата икономика има за цел да насърчи по-ефективното използване на ресурсите. Това означава да се включи използването на роботика и други цифрови технологии, които могат да помогнат за намаляване на отпадъците и подобряване на управлението на ресурсите.

В допълнение към тези политики и инициативи ЕС също така разработва разпоредби и насоки, за да гарантира безопасното и етично използване на роботиката. Например, Общият регламент за защита на данните (ОРЗД) на ЕС включва разпоредби за защита на личните данни, които са от значение за разработването и използването на роботиката и други цифрови технологии. ЕС работи и по разработването на насоки за етично използване на

изкуствения интелект и роботиката, които имат за цел да гарантират, че тези технологии се разработват и използват по начин, който е безопасен, надежден и зачита човешкото достойнство и неприкосновеността на личния живот.

Така представените концепции и международни политики, обвързани с мобилните роботи, валидират актуалността на темата и нуждата от имплементации и по-нататъшни развития в областта на сервизните роботи. Необходимостта от създаване на сервизни роботи, произтичаща от техните възможни проявления и различни начини на приложения в изброените сфери, както и очевидният им положителен ефект поставят значим акцент за тяхното по-нататъшно развитие и имплементиране с цел благоденствието на хората по света. На база на упоменатите по-горе програми, както и на много други, може да се изведат като обобщение следните основни отрасли, в които сервизните роботи имат приложение и поле за по-нататъчно развитие и имплементиране:

1) Производство и логистика:

- Обработка и транспортиране на материали в заводи и складове
- Управление на запасите и проследяване на продуктите
- Сглобяване и разглобяване на продукти
- Опаковане и етикетироване

2) Селско стопанство:

- Наблюдение на културите и прибиране на реколтата
- Контрол на вредителите и плевелите
- Напояване и наторяване
- Управление на оранжерии и разсадници

3) Здравеопазване:

- Наблюдение и помощ на пациентите
- Доставка и управление на лекарства
- Почистване и дезинфекция на помещенията
- Подпомагане на хора с увреждания или затруднения в придвижването

4) Образование и развлечения:

- Интерактивни експонати в музеи и тематични паркове
- Образователни роботи за преподаване на програмиране и STEM предмети
- Роботизирани домашни любимци и спътници

5) Строителство и минно дело:

- Инспектиране и проучване на обекти
- Изкопни работи и сондиране
- Събаряне и отстраняване на отломки
- Поддръжка и ремонт на оборудване и инфраструктура

6) Сигурност и наблюдение:

- Патрулиране и наблюдение на обществени места
- Откриване и докладване на заплахи за сигурността
- Издирвателни и спасителни операции в опасна среда
- Инспекция на критична инфраструктура, като например тръбопроводи или електропроводи

7) Наблюдение на околната среда:

- Мониторинг на качеството на въздуха и водата
- Проследяване и опазване на дивата природа
- Откриване и почистване на замърсявания
- Наблюдение на климата и времето

8) Търговия на дребно:

- Зареждане на рафтовете и управление на инвентара в магазините
- Обслужване на клиенти и поддръжка в молове и търговски центрове
- Доставка на стоки и пакети до клиентите

9) Хотелиерство:

- Обслужване на стаи и поддържане на дома в хотели и курорти
- Оказване на помощ на гости с увреждания или с намалена подвижност
- Почистване и поддържане на съоръжения и открити площи

10) Транспорт:

- Автономни превозни средства за споделено пътуване и обществен транспорт
- Роботи за доставка на пакети и хранителни стоки на последната миля
- Инспекция и поддръжка на транспортна инфраструктура, като пътища, мостове и тунели

11) Енергетика:

- Инспекция и поддръжка на нефтопроводи и газопроводи и рафинерии

- Поддръжка на вятърни турбини и слънчеви панели
- Мониторинг и контрол на електропреносни мрежи и подстанции

12) Правоприлагане и обществена безопасност:

- Роботи за откриване и обезвреждане на бомби
- Контрол на тълпата и реагиране при безредици
- Наблюдение и мониторинг на обществени събития и събирания

13) Наука и изследване:

- Изследване на планети и космоса
- Океанография и морски биологични изследвания
- Археология и палеонтология: изследвания и разкопки

14) Лична и домашна употреба:

- Роботизирани асистенти за възрастни хора или хора с увреждания
- Роботи за почистване и поддръжка на дома
- Устройства за личен транспорт

15) Реагиране и възстановяване при бедствия:

- Операции по търсене и спасяване при природни бедствия, като земетресения, урагани и горски пожари
- Извозване на отломки и почистване след бедствия
- Оценка и проверка на повредена инфраструктура, като сгради и мостове

16) Аерокосмическа дейност:

- Сглобяване и поддръжка на космически кораби и спътници
- Инспекция и поддръжка на въздухоплавателни средства и летища
- Изследване и картографиране на други планети и небесни тела

17) Военно дело и отбрана:

- Разузнаване и наблюдение в зоните на бойните действия
- Операции по обезвреждане на боеприпаси и разминиране (EOD - Explosive Ordnance Disposal)
- Превоз на товари и логистика в отдалечени райони

18) Спорт и развлечения:

- Автономни камери за спортни предавания и събития на живо
- Роботизирани изпълнители в театрални и развлекателни представления

- Осветление и озвучаване при концерти и събития

19) Храни и напитки:

- Готвене и приготвяне на храна в ресторанти и търговски кухни
- Автономна доставка на храни и напитки на стадиони и арени
- Прибиране на реколтата и преработка на култури в селското стопанство и фермерството

20) Образование и научни изследвания:

- Помощни работи за ученици с увреждания или специални нужди
- Лабораторни и изследователски асистенти за научни експерименти
- Автоматизирани наставници и асистенти за онлайн образователни платформи

1.2 Приложение на многоцелевите теле-управляеми сервизни роботи

Многоцелевите сервизни роботи с телеуправление са роботизирани системи, проектирани да бъдат дистанционно контролирани от човек-оператор и способни да изпълняват широк спектър от задачи и функции в различни области и индустрии. Тези роботи са оборудвани с широк набор от сензори и камери, които позволяват на оператора да ги наблюдават и управляват. По този начин се изпълняват задачи в различни среди от дистанция. Сервизните теле-управляеми роботи обикновено са оборудвани с манипулатори и допълнително оборудване, което им позволява да изпълняват задачи като инспекция, почистване, поддръжка и др. Тези роботи са гъвкави, адаптивни и могат да се управляват от разстояние, което ги прави подходящи за широк спектър от приложения, където се изисква човешка намеса, дистанционна работа или адаптивност. Многоцелевите роботи често могат да заменят необходимостта от множество специализирани роботи, което ги прави по-рентабилни. Тази гъвкавост позволява да се спестят както първоначални инвестиции, така и разходи за поддръжка. Тези роботи могат да се адаптират към променящите се среди и задачи за изпълнение, намалявайки необходимостта от постоянно преконфигуриране или закупуване на ново оборудване. Тяхната адаптивност е особено ценна в индустрии с динамични и развиващи се нужди. Многоцелевите роботи могат да изпълняват задачи в опасна или недостъпна среда, намалявайки риска за хората. Това включва дейности в индустрии като ядрена енергия, минно дело и търсене и спасяване. Многоцелевите роботи могат да работят непрекъснато и прецизно, което води до повишена производителност в различни сектори. Те могат да изпълняват задачи по-бързо и последователно от хората,

намалявайки грешките и престоите. В производството и контрола на качеството роботите предлагат висока прецизност, което е от решаващо значение за сфери, където точността и качеството на продуктите е от първостепенно значение, като автомобилостроенето и производството на електроника. Многоцелевите работи са проектирани с модулни компоненти, което улеснява персонализирането им за конкретни задачи. Тази способност за персонализиране е от съществено значение за индустрии с уникални или развиващи се изисквания. В научните изследвания и проучвания многоцелевите работи са незаменими за провеждане на експерименти, събиране на данни и изследване на среди, които са недостъпни за хората. Те се използват в области като планетарно проучване, дълбоководни изследвания и мониторинг на околната среда. Многоцелевите работи все повече се използват в здравеопазването. Тяхната адаптивност им позволява да помагат с широк спектър от медицински процедури. Многоцелевите работи могат да се използват за инспектиране и поддържане на инфраструктура от първостепенно значение, като мостове, тръбопроводи и електропроводи и др. В производствената индустрия сервизните работи за телеуправление могат да играят ключова роля в Индустрия 4.0, която се отнася до интегрирането на модерни технологии като изкуствен интелект, роботика и интернет на нещата (IoT) в производствения процес. Тъй като научните изследвания и разработките в тази област продължават, се очаква да се появят още по-иновативни приложения и все по-широко внедряване на тези усъвършенствани роботизирани системи.

1.3 Основни характеристики на многоцелевите работи

Многоцелевите работи имат модулен дизайн, който позволява на потребителите лесно да добавят или премахват компоненти. Тази модулност позволява на робота да бъде персонализиран за конкретни задачи и прави ъпгрейтите или адаптациите по-лесни. Многоцелевите работи са оборудвани с разнообразни възможности за манипулация, като роботизирани ръце с множество степени на свобода и адаптивни хващачи. Посредством тази гъвкавост те могат да боравят с различни обекти и да изпълняват разнородни задачи. В зависимост от предвидените приложения, многоцелевите работи могат да имат различни системи за мобилност, включително колела, писти, крака, въздушни възможности (например дронове) или комбинация от тях. Изборът на мобилност зависи от терена и задачите, с които роботът ще се сблъска. Многоцелевите работи включват разнообразни сензори за възприятие, навигация и взаимодействие с околната среда. Общите сензори включват

камери, LiDAR, ултразвукови сензори, тактилни сензори и инфрачервени сензори. Безопасността е от първостепенно значение, особено когато роботите работят заедно с хората. Механизмите за безопасност като откриване на сблъсък, бутони за аварийно спиране и системи за безопасност при отказ са интегрирани за предотвратяване на произшествия. Тези роботи често се отличават с различни нива на автономност, което им позволява да работят с минимална човешка намеса. Усъвършенстваните алгоритми за навигация, избягване на препятствия и вземане на решения допринасят за тяхната автономност. Удобните за потребителя интерфейси и интуитивните системи за управление са от съществено значение за ефективното взаимодействие между човек и робот. Те могат да включват физически контролни панели, сензорни екрани, интерфейси за виртуална реалност или дори интерфейси на естествен език за отдалечена работа. Енергийно ефективните компоненти, системите за управление на захранването и технологиите за батерии са интегрирани, за да оптимизират консумацията на енергия на работа. Това спомага за удължаване на работното време, особено в отдалечени или автономни приложения. Многоцелевите роботи са проектирани да издържат на тежки условия и продължителен срок на експлоатация. Това изисква използването на материали и технологии, които подобряват издръжливостта на робота, неговата устойчивост на атмосферни влияния и абсорбцията на удари. Многоцелевите телеуправляеми роботи разполагат с разширени комуникационни възможности, включително Wi-Fi, клетъчна и сателитна свързаност, посредством които се постига дистанционно наблюдение, контрол и предаване на данни. В някои приложения те могат да бъдат разположени в групи или рояци, което позволява мащабируемост и резервираност. Това е особено ценно в ситуации като търсене и спасяване, селско стопанство и мониторинг на околната среда. Характеристиките на робота следва да улесняват достъпа на потребителите и поддръжката му, включително компоненти, които може да изискват периодична проверка, ремонт или подмяна.

Нов аспект, свързан с проектирането на роботи и в част на многоцелевите телеуправляеми роботи е интегрирането на AI с цел подобряване на тяхната адаптивност и способности за вземане на решения. AI позволява на роботите да се учат от опита и да подобряват ефективността си с течение на времето.

1.4 Системи на сервизните роботи

Основните системи, от които се състоят сервизните роботи са:

- Електрическа система

Захранващата система е важен компонент на робота, тъй като осигурява енергията, необходима за функционирането на всички останали подсистеми. Изборът на източник на захранване зависи от конкретното приложение и изискванията на робота. Например робот, захранван от батерия, може да е подходящ за приложения на закрито с кратко време на работа, докато робот, захранван от горивна клетка, може да е по-подходящ за приложения на открито, които изискват по-дълго време на работа. Системата за разпределение на захранването трябва да бъде проектирана така, че да осигурява необходимото напрежение и ток на всяка подсистема, като същевременно осигурява безопасност и надеждност.

- Система за придвижване

Системата за придвижване е отговорна за придвижването на робота в околната среда. Изборът на механизъм за придвижване зависи от вида на терена и препятствията, които роботът ще срещне. Роботите на колела обикновено се използват за приложения на закрито върху гладки подове, докато роботите на гъсенични колела са по-подходящи за външни среди с неравен терен. Двигателите или задвижващите механизми, които задвижват движението, трябва да са достатъчно мощни, за да придвижат робота, и същевременно да са ефективни, за да пестят енергия.

- Навигационна система

Навигационната система е отговорна за определяне на местоположението и ориентацията на робота спрямо околната среда. Това може да се постигне с помощта на различни сензори, включително GPS, инерционни сензори и визуална одометрия. Алгоритмите, използвани за локализация и картографиране, трябва да са надеждни и точни, за да могат роботът да се движи безопасно и ефективно. В системите за навигацията все повече навлиза изкуствения интелект като решение.

- Комуникационна система

Комуникационната система е отговорна за предаването и получаването на данни и команди между робота и неговите оператори или други системи. Тя може да включва безжични комуникационни технологии като Wi-Fi, Bluetooth или клетъчни мрежи за данни. Комуникационната система трябва да бъде проектирана така, че да гарантира надеждност и сигурност, както и да минимизира закъснението, за да позволи управление на робота в реално време.

- Система за опериране

Системата за опериране е отговорна за това роботът да взаимодейства с околната среда, като например да взема и премества предмети или да изпълнява други задачи. Това може да бъде постигнато с помощта на различни инструменти и оборудване, като например роботизирани ръце, хващачи или сензори. При проектирането на системата за манипулиране трябва да се вземат предвид теглото и размерът на обектите, които ще се манипулират, както и прецизността и точността, необходими за изпълнението на задачата.

- Сензорна система

Сензорната система е отговорна за откриването на околната среда на робота и предоставянето на данни за навигация и управление. Тя може да включва камери, лидар, ултразвукови сензори или други видове сензори в зависимост от конкретното приложение. Сензорите трябва да бъдат избрани и разположени така, че да осигуряват необходимите данни, като същевременно са здрави и надеждни.

- Компютърна система

Компютърната система отговаря за изпълнението на софтуера и алгоритмите на робота, както и за съхранението и обработката на данни. Тя може да включва вградени процесори и памет, както и базирани в облака изчислителни ресурси за по-усъвършенствани приложения. Компютърната система трябва да бъде проектирана така, че да осигурява необходимата изчислителна мощност, като същевременно е енергийно ефективна, за да пести енергия.

- Система за управление

Системата за управление е отговорна за изпълнението на командите на робота и позволява управлението в реално време от оператора или други системи. Тя може да включва контролни цикли с обратна връзка и алгоритми за планиране на движението и следване на пътя. Системата за управление трябва да бъде проектирана така, че да гарантира безопасност и стабилност, както и да осигурява необходимата производителност за конкретното приложение.

- Система за безопасност

Системата за безопасност е отговорна за осигуряване на безопасността на робота и на всички оператори или странични лица. Тя може да включва бутони за аварийно спиране, системи за откриване и избягване на сблъсъци или механизми за безопасност при повреда, като например резервни източници на захранване или дублиращи системи за управление.

Системата за безопасност трябва да бъде проектирана така, че да сведе до минимум риска от злополуки или неизправности, като същевременно позволява на робота да изпълнява ефективно предвидените задачи.

1.5 Механична съвместимост

Механичната съвместимост е съществен аспект при проектирането на модулни роботи, които използват различни модули или инструменти. Тя се отнася до съвместимостта между механичните части на робота и модулите, които могат да бъдат прикрепени или откачени. Основните аспекти, които трябва да се вземат предвид са : съвместимост на размерите, стандартизирани интерфейси, здравина и носимост, обслужване.

Механичните размери на универсалната мобилна платформа и модулите трябва да са съвместими. Това включва размерите на монтажните точки, формата на модулите и техния обем. Механичната съвместимост изисква проектирането на стандартизирани интерфейси, които позволяват бързо и лесно прикачване и откачване на модулите. Тези интерфейси могат да бъдат въз основа на механизми за заключване, конектори или други системи, които гарантират стабилност и сигурност. Механичните части на робота и модулите трябва да бъдат проектирани да издържат вибрации, натоварване и удари при работа. Здравата конструкция гарантира надеждност и продължителност на системата. При проектирането се отчита и удобството на обслужване и поддръжка на робота. Модулите трябва да могат да бъдат заменяни без необходимост от сложни инструменти или демонтаж на цялата конструкция на робота.

1.6 Механични системи за осъществяване на придвижване на мобилните роботи

Мобилността е основна характеристика на по-голямата част от сервизните роботи. Тя е важен параметър на разработения в настоящата дисертацията многоцелеви робот.

Изведената класификация на механичната част на мобилните роботи е направено на база на обобщенията направени от авторите на [16] и [42].

1.6.1 Характеристики на колесните мобилни роботи

При обсъждането на аспекти, свързани с механиката на колесните мобилни роботи (WMR - Wheeled Mobile Robots), следва да обърнем внимание на някои ключови характеристики:

- Брой на степените на свобода в управлението
- Подвижност

- Маневреност
- Стабилност на движението
- Координатно пресмятане (dead reckoning)
- Сложност на конструкцията
- Среда на експлоатация

От голямо значение за мобилните роботи е броят на техните степени на свобода (DoFs). Това са независимите параметри, определящи конфигурацията на механичната система. Срещат се и понятията представителни DoFs (свързани с броя на координатите) и контролни DoFs (отразяващи броя на изпълнителните механизми). Роботите, при които броят на управляващите DoFs е по-малък от представителните DoFs, се наричат недостатъчно задействани, а при тези с по-голям брой – прекалено задействани.

Мобилността представлява способността на робота да се движи с определени параметри в различни условия на средата, с оглед на ограниченията на самия робот. За да се определи подвижността, трябва да се анализират движенията на робота върху различни по свойства и наклони терени. Способността на робота да преминава през препятствия в околната среда, с различна форма и височина, също е от съществено значение. Подвижността върху конкретен терен зависи от редица фактори, включително геометрията на системата за движение, координатите на центъра на тежестта, свойствата на колелата (като сцепление, съпротивление при търкаляне, площ на контакт със земята), ограниченията, произтичащи от характеристиките на задвижванията (като мощност, максимална скорост на въртене, максимален въртящ момент), параметрите на батерията (като максимален ток на непрекъснат разряд) и други. Поради тези причини е предизвикателно да се направи обективна оценка на подвижността на робота без извършване на симулационни и експериментални изследвания. Добрата мобилност на робота се проявява в способността му успешно да преодолява препятствия с височина, близка до радиуса на задвижващите колела. Това важи както за движение напред, така и назад, както и при движение по наклонена повърхност с висок коефициент на триене между колелата и земята.

Маневреността представлява способността на робота да променя посоката си на движение. Значителна е в движение в ограничени пространства, където роботът трябва да може да се върти на място. Роботът е с добра маневреност, ако може да изпълнява както линейно движение във всяка посока, така и въртящо се движение. Ако роботът може или да

се върти на място и да извършва линейно движение в зависимост от текущата поза, или да завива с определен радиус, или не може да се върти на място и може да извършва линейно движение във всяка посока, независимо от текущата поза, той се счита за с маневреност.

Стабилността на движението при колесните мобилни роботи се измерва чрез устойчивостта им на неравности на терена по време на движение. Лошата стабилност се проявява, когато роботът губи контакт на едно от задвижващите колела със земята и неволно променя посоката на движение. Средна стабилност се характеризира от малка промяна в посоката на движение след загубата на контакт, а добра стабилност се изразява чрез незначителни влияния от тези събития.

Кординатното пресмятане на превозното средство представлява неговата способност да определя положението си, базирайки се на скоростта, посоката и времето на движение в сравнение с предишните изчисления. В случая на колесните мобилни роботи, това обикновено се основава на одометрията на робота. От механична гледна точка връзката с координатното пресмятане може да се разглежда като ъгловите параметри на въртене и ъгъл на завъртане, които трябва да се измерват точно при определяне на параметрите на движение на мобилната платформа на робота.

Проектирането на колесните мобилни роботи е сложен процес, който включва проектирането на механични и контролни системи, като се вземе предвид броят на управляваните задвижвания. Сложността на робота се определя преди всичко от броя на задвижванията в системата за придвижване.

Средата, в която се използва роботът, оказва влияние върху неговата сложност. Тя може да бъде вътрешна или външна.

1.6.2. Видове колела на колесните мобилни роботи

Обикновено колелата на колесните мобилни роботи се разделят на задвижвани и незадвижвани, както и на управляеми и неуправяеми.

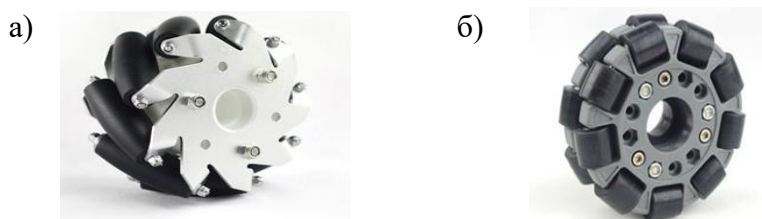
Управляемо колело е такова, чиято посока може да се променя относно шасито, използвайки система за управление. В същото време неуправляемото колело не може да се върти или това въртене не зависи от управление, а е резултат от външни сили.

Според комбинацията от гореспоменатите характеристики се разграничават следните видове колела:

- Спомагателни (castor wheels) - без завиване и без задвижване

- Фиксирани и незадвижвани (свободни колела)
- Фиксирани и задвижвани
- Завиващи и незадвижвани
- Завиващи и задвижвани

При управляемите колела оста на въртене обикновено се пресича с оста на въртене на самото колело, за разлика от спомагателните (castor wheels), чиито оси са разположени на известно разстояние една от друга. Това позволява на спомагателните колела да се въртят самостоятелно под влиянието на странична сила. Особено интересни са меканум (mecanum) колелата (фигура 1а), също наричани шведски или всестранни колела, и омниколела (фигура 1б).



Фигура 1. Меканум колело 1(а) и двойно омниколело 2(б)

Меканум колелата се отличават с независимо въртене на ролките на окръжността им под ъгъл от 45° спрямо оста на въртене. Омниколелата имат свободни ролки, чиито оси на въртене образуват 90° спрямо оста на въртене и обикновено са двойни колела.

Колелата съществено влияят на движението на мобилния робот и трябва да отговарят на следните изисквания:

- Високо сцепление с повърхността и устойчивост на странично отклонение
- Адекватна товароносимост (способност за пренасяне на товара)
- Способност за потискане на вибрациите и ударите
- Ниско съпротивление при търкаляне
- Трайност (устойчивост на износване и удар)

Знание за броя и вида колела в робота е от съществено значение за моделирането на кинематиката и динамиката му.

Областите на изследване на колесните роботи се фокусират върху сцеплението и стабилността, маневреността и управлението. Стабилността обикновено не е проблем при колесните роботи, тъй като колелата почти винаги са в контакт със земята. Три колела са

достатъчни за гарантиране на стабилен баланс, въпреки че при решения с две колела стабилността е по-проблематична. С повече от три колела се използва система за окачване, за да се поддържа контактът със земята по време на движение в неравна местност. Разположението и конфигурацията на колелата също са от съществено значение.

Не съществува универсална система за управление, която едновременно подобрява маневреността, управляемостта и стабилността. Всяка област на приложение на мобилните роботи има собствени ограничения, свързани с дизайна на робота. Определящо е да се определят броят и видът на колелата при проектирането на всеки робот. Задачата свързана с проектирането се свежда до избора на най-подходящата конфигурация на задвижване, като се вземат предвид всички изисквания.

1.6.3 Класификация на колесните роботи в зависимост от броя на колелата

Роботите могат да бъдат класифицирани в различни категории в зависимост от броя на колелата, като следва:

- Роботи с едно колело

Едноколесните роботи разполагат с едно фиксирано или стандартно колело.

Определението на едноколесната система я прави нестабилна, изискваща съчетано продължително и странично контролиране за поддържане на равновесие.

- Роботи с две колела

Тези роботи имат две успоредни, стандартни колела, свързани с двете страни на робота и управлявани от две отделни задвижвания. Предполага се, че всяко колело е перпендикулярно на земята и че контактът между колелата и земята е без хлъзгане и чисто търкаляне. Пример за робот с две колела е Roomba - робот-прахосмукачка с преден сензор за контакт и инфрачервен сензор отгоре. Също така, Segway може да бъде разглеждан като самобалансиращ се двуколесен робот.

- Роботи с три колела

Съществуват два типа роботи с три колела: с диференциално управление (две задвижвани колела с допълнително свободно въртящо се колело за поддържане на равновесие) и такива, при които две колела са задвижвани от един и същ механизъм, докато третото управлява завиването.

- Роботи с четири колела

Тъй като центърът на тежестта е в правоъгълника, образуван от четирите колела, а не в триъгълника, тези роботи са по-стабилни от триколесните. Колелата могат да са ориентирани диференцирано (като при роувърите), задвижвани по две (като при танковете) или подобни на автомобилите. Роботи, подобни на автомобили, са от съществено значение в транспорта, логистиката и хранителната индустрия.

- Роботи с пет колела

Тези роботи са предназначени за преодоляване на неравни терени, като увеличават контакта и стабилността. Има асиметрични прототипи с пет колела (WMR) с преконфигурируеми характеристики, които могат да преодоляват различни препятствия и склонове. Изследване е направено за плъзгането на петколесен мобилен робот при движение по неравен терен, като са изведени изводи относно контактната точка на колелото, височината на препятствието и ъгъла на завъртане.

- Роботи с шест или повече колела

Тези роботи са предназначени за неравен терен и се характеризират със сложна конструкция. Роботите с шест колела включват Sojourner от мисията Mars Pathfinder през 1997 г., Spirit и Opportunity през 2004 г. и Curiosity през 2012 г. Те разполагат със система за окачване, която поддържа контакта на всички шест колела със земята, което им помага при движение върху хълмове и пясъчни терени.

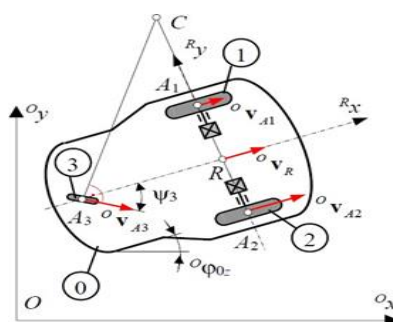
1.6.4. Кинематични структури на колесните мобилни роботи

В зависимост от разположението на колелата и видовете колела, колесните мобилни роботи се класифицират в следните кинематични структури:

- Диференциално задвижване
- Плъзгащи
- Тип "автомобил"
- Всепосочно (Месапит задвижване, холономично задвижване)
- Тип "роувър" (роботи с множество задвижвани и управлявани колела)
- Синхронно задвижване

Роботите с диференциално задвижване обикновено са с две фиксирани и диференциално задвижвани колела. Те се отличават с механична простота и са по-евтини. Това ги прави средно маневрени, способни да се въртят на място за коригиране на посоката. Обаче те са податливи на непредвидени промени в движението поради неравности на терена и различно

сцепление на колелата с повърхността. Те се използват често в затворени пространства, като стаи. Диференциално задвижваните роботи могат да имат две, три, четири или дори шест колела. Двуколесните роботи с допълнителен поддържащ елемент са стабилни, подходящи както за вътрешно, така и за външно използване, но поддържащият елемент може да причини допълнителни сили, влияещи на движението и координатното пресмятане. При триколесните роботи с диференциално задвижване се прилагат две диференциално задвижвани колела и едно спомагателно колело. (фиг.2)



Фигура 2. Кинематична структура на триколесен диференциално задвижван робот

С две независимо задвижвани колела може да се постигне сравнително добра маневреност и незначително приплъзване на колелата при движение по равен терен. Роботът може да преодолее и по-трудни полеви препятствия, ако движението се извършва по посока на задвижваните колела. Такива решения обаче са най-подходящи за закрито. При етириколесните и шестколесните диференциално задвижвани роботи освен две диференциално задвижвани колела се добавят и две или четири спомагателни колела. При такива решения неравната основа може да предизвика движение на робота в непредвидена посока. Поради това такива роботи са предназначени предимно за движение в закрити помещения.

1.6.5 Плъзгащи мобилни роботи

Този вид роботи се идентифицират като плъзгащи се, защото по време на завиване и ротация на място винаги възниква странично приплъзване на колелата. Роботите в тази категория разполагат с колела, които са стационарни и се класифицират като неподвижни. Това представлява основен недостатък на този тип транспортни средства поради ниската им енергийна ефективност и увеличената износваемост на колелата (гумите), както и въздействието върху терена. Обикновено включват 4- или 6-колесни конфигурации.

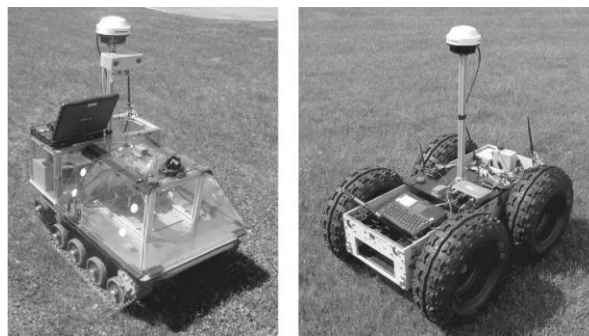
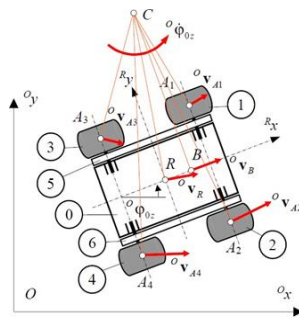


Figure 3. Skid-steer robots used during experimental testing.

Фигура 3. Плъзгащ мобилен робот

Този вид мобилни роботи обикновено имат прост и компактен дизайн, което ги прави сравнително евтини. Изявяват се с добра мобилност и средна маневреност. Също така, разполагат с добра стабилност на движение, което означава, че роботите от този тип не променят посоката на движение значително и непреднамерено в неравен терен. Затова често се използват на открити пространства, но са подходящи и за затворени пространства като стаи, особено четириколесните варианти. При плъзгащите роботи всички колела се задвижват независимо или колелата от всяка страна на превозното средство се задвижват от един двигател. В първия случай, този вид роботи са свръхзадвижвани (overactuated) поради използването на повече устройства с представителни степени на свобода. Във втория случай, движението от всяка страна на робота се предава към отделни колела чрез зъбни колела, вериги или чрез предавателен механизъм към останалите колела. Роботите с плъзгащо се управление са сложни обекти от гледна точка на моделиране и управление. Поради приплъзването на колелата, възникващо по време на завъртане и въртене на робота на място, в този случай не може изрично да се решат предни и обратни кинематични проблеми. Поради същата причина разработването на динамични модели на тези превозни средства се явява по-сложно. Особено сложен е случаят, когато роботът се върти на място върху деформируема основа. Този тип управление изисква използването на здрави механизми за свързване на колелата към подвижната платформа поради високите странични сили, които могат да възникнат. Контролът на движението на този тип роботи, поради лошо координатно пресмятане, не може да се осъществи само чрез техническа информация, като въртенето на колелото. При четириколесните роботи с плъзгащо се управление всички колела се задвижват независимо или в повечето случаи независимо задвижвани са само две колела, по

едно от всяка страна, а задвижването се предава на другите колела от определена страна чрез зъбен ремък.



Фигура 4. Кинематична структура на четириколесен плъзгащ робот

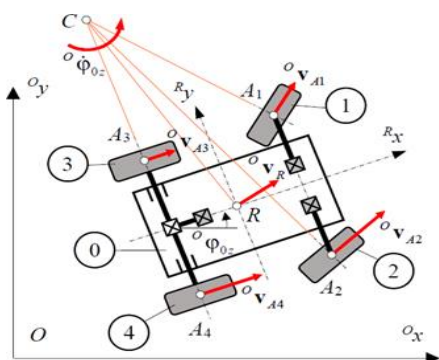
За шестколесните плъзгащи роботи най-типичното е независимото задвижване на всички колела или се използва един двигател за всяка страна на робота и след това задвижването се предава на колелата чрез зъбни колела или вериги. При независимото задвижване на всяко колело от дадена страна на робота се управлява с управляващ сигнал с една и съща стойност. Недостатък на това решение е, че ъгловите скорости на въртене на отделните колела се различават в зависимост от условията на взаимодействие на колелата със земята. Прилагането на по-голям брой колела намалява стойностите на силите, упражнявани върху земята от едно колело, и увеличава мобилността на робота върху деформируем терен. В решенията с шест колела често се въвеждат системи, които да гарантират непрекъснат контакт на всички колела със земята.

1.6.6 Мобилни роботи тип "автомобил"

Тези мобилни роботи с колела разполагат с кинематична структура, подобна на тази на автомобилите. Основните характеристики на тези автомобилподобни роботи обикновено включват ограничен радиус на завиване за завиващите колела, което предотвратява възможността за въртене на робота на място. Поради този факт такива решения се предпочитат предимно за приложения на открито. Както при автомобилите, тези мобилни роботи често използват диференциален механизъм за задвижване на колелата. Най-честите роботизирани превозни средства в тази категория имат същата кинематична структура като автомобилите, т.е. с четири колела, от които две са предназначени за завиване. Задвижването може да става от предните, задните или всички колела. За управление на колелата често се използва Акерманов механизъм, а задвижването на колелата се регулира

чрез диференциален механизъм. При решения с два двигателя за независимо управление на ъглите на завиване на управляемите колела може да се използва вместо Акермановия механизъм. Това е механично по-просто решение от Акермановия механизъм и е предпочитано, особено при роботи с ограничени размери.

Роботите с кинематика, аналогична на тази на автомобилите, представляват решения със средна сложност.



Фигура 5. Кинематична структура на четириколесен робот тип „автомобил“



Фигура 6. Колесен мобилен робот тип „автомобил“

Поради използването на известни и доказани автомобилни концепции, разработването на този тип роботи не предизвиква значителни трудности. Също така, когато се използват два типа задвижвания - едно за завиване и друго за задвижване на колелата, този вид решение може да бъде доста икономично. Такива роботи са основно предназначени за аграрната сфера.

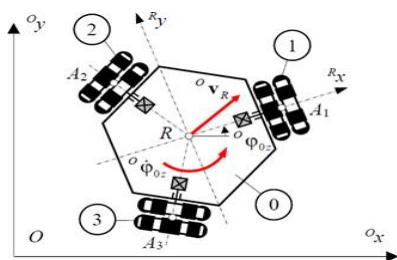
1.6.7 Всепосочни колесни мобилни роботи

Друга категория колесни мобилни роботи са всепосочните роботи, наричани също холономни. Това означава, че роботът може да се движи независимо в напред и назад, от страни и едновременно да се върти около вертикална ос. Този вид маневреност се постига чрез използване на меканум колела или омниколела. Всепосочните колела са механично сложни спрямо други дизайни на колела, което ги прави по-скъпи. В този тип роботи всички колела се задвижват и управляват независимо, което прави по-сложно решаването на кинематични проблеми и, следователно, контрола на движението на мобилната платформа. Всепосочните мобилни роботи са известни с много добрата си маневреност - те могат да се въртят на място и да се движат във всяка посока едновременно. Те обаче не са изключително

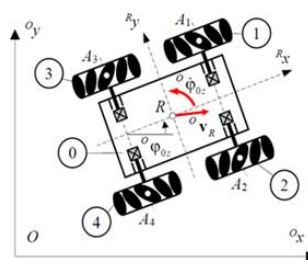
стабилни при движение, тъй като тяхното движение зависи критично от скоростта на всяко колело. Ако едно колело загуби контакт със земята, роботът се движи в непреднамерена посока. Следователно тези роботи трябва да се използват на равен терен. Все още обаче те имат по-ниска производителност от диференциално задвижваните, автомобилподобни, роувър роботи и синхронно задвижваните, но са по-добри от плъзгащо се управление. За да се осигури висока точност на движението, управлението на движението на тези роботи не трябва да се базира само на тяхната одометрия. Тези решения са подходящи за приложения в закрити помещения, но не могат да се използват на открито поради загубата на всепосочни характеристики на колелата в случай на замърсяване на ролката, например от пясък, кал или сняг.

Кинематичната структура на робота с омниколела се нарича холономно задвижване, докато тази с меканум колела - меканум задвижване.

При холономното задвижване колелата са разположени така, че техните оси на въртене се пресичат в една точка. Роботите с холономно задвижване обикновено имат три или рядко четири колела.



Фигура 7. Кинематична структура на триколесен робот с холономно задвижване

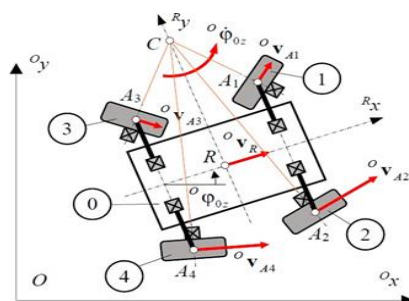


Фигура 8. Кинематична структура на четириколесен робот с меканум задвижване

Роботите с меканум колела обикновено са четириколесни. В този случай разположението на колелата може да бъде същото като при роботите с плъзгащо управление, т.е. осите на въртене на колелата са успоредни една на друга. Както четириколесните холономични, така и Mecanum водят до прекомерно задвижване на превозните средства, тъй като използват четири задвижвания в системата за придвижване.

1.6.8 Мобилни роботи тип роувър

Мобилните колесни роботи от тип роувър разполагат с голям брой двигатели за задвижване и управление на колелата, което ги класифицира като превозни средства със силно свръхзадвижване. Те обикновено са най-сложните и съответно, скъпи мобилни роботи. Въпреки това, те разполагат с изключителни кинематични и динамични свойства.



Фигура 9. Кинематична структура на четириколесен робот тип роувър

Най-важното е, че те предлагат най-добра мобилност в сравнение с всички видове мобилни роботи (WMR). Заради възможността за независимо управление на множество колела, роувърите могат да се въртят на място и да се движат във всяка посока, което ги прави изключително маневрени. Освен това, те се отличават с добро координатно пресмятане, позволявайки движение с минимални приплъзвания на колелата. Поради съображения за безопасност и за предотвратяване на приплъзване и потъване в меки терени, роувърите често се движат с ниска скорост.

Роувърите обикновено са с шест колела, които се задвижват и управляват независимо или само външните колела се управляват. За задвижването на колелата се използват двигатели с директно задвижване, които се поставят в главините на колелата.



Фигура 10. Пример за марсоход тип WMR
Curiosity



Фигура 11. Четириколесен роувър тип WMR
AZIMUT

Това се дължи на използването на системи за контролно рамо и факта, че колелата често се задвижват и управляват. Роувърите са предназначени за открити приложения, но поради техните характеристики, като добра маневреност и надеждност, в случай на по-малки конструкции могат да бъдат използвани и в закрити среди. Възможно е също така да се срещнат роботи от тип роувър с четири колела, като изследователският робот AZIMUT, предназначен за закрити приложения.

1.7 Дизайн, ергономия и нормативни изисквания

Като медиатор дизайнът играе съществена роля в изграждането на успешна комуникация между човека и робота. Той представлява онова специфично звено, без което възприемането, а от там и подходът на човека спрямо робота би бил различен. Дизайнът е отговорен за тази успешна комуникация, даваща положителен резултат по отношение на взаимодействието, сработването, възприемането и подхождането към робота, както и неговото приемане. Дизайнът на роботи е отговорна задача, с множество параметри, които трябва да бъдат съобразени, имайки предвид ситуацията, в която робота ще бъде поставен, за да може комуникацията човек - робот да бъде осъществена правилно. Важно е да се обърне внимание на фактори като емоционалната интелигентност, възрастта, социалните компетенции и способността на индивида да възприема. Съществени са и физическо състояние, заемана позиция в комуникационната среда, психофизиологичното въздействие на материалите, формите, отделните компоненти, изграждащи цялостната визия, цветовете решения. Изниква въпросът какво въздействие върху потребителя оказва дизайна на робота. За унифициране и полагане на основите на стандартизация в дизайна на роботи, се визират ергономични изисквания, психологични аспекти на формите и цветовете, тяхното психофизиологично въздействие и породените на тази база емоции и действия на потребителя. По този начин се извеждат „формули“, които да гарантират успешната комуникация и приемане на робота.

1.7.1Формообразуване и силуетна цялост

Формите, изграждащи дизайна на роботите, са съподчинени на множество параметри. От избора на решения следва да се получава завършен цялостен облик на робота, който събира в себе си отделни елементи и ги свързва логически и естетически. Трябва да се вземе под внимание сложността на формите, тъй като на базата на възприемането и простотата, съответно сложността на формата създава цялостното възприятие за робота и

осезаемостта на неговото присъствие. Различните възприятия могат да породят различни по характер емоции у потребителя, както предразполагащи към активно взаимодействие, така и негативни такива, създаващи прегради в комуникацията между робот и човек [79]. Подвижните и взаимодействащи с потребителя елементи следва да бъдат балансирани в цялостната фигура по начин, запазващ оптичския баланс и хармонията на формата, с избягване на множество самостоятелни елементи, които биха затруднили цялостното присъствие и възприемане на робота. Елементите от конструкцията изграждащи механичната и електронна част на робота следва да бъдат интегрирани от дизайна по начин, който не възпрепятства оптималното и правилното им функциониране. Например: различни видове сензори, за чието правилно въздействие се изисква поставянето им на видими места. Тяхното включване в дизайна на робота следва да се реализира така, че да бъдат хармонизирани с останалата част на корпуса на робота - в оптическа цялост, спазвайки се логическите закономерности на пропорцията и композицията. Дизайнът може да позволи на потребителя да „надникне” в машинната същност на робота, с който взаимодейства. Откритият дизайн има за цел недвусмислено да покаже същността на робота, а именно - обслужваща машина, която цели да помага, а дори да бъде и безмълвен другар - помощник. Резултатът, който се цели посредством такова решение би бил дизайн, предпазващ фините механични и електронни части в конструкцията на робота.

Асоциацията на фигурата на робота с предмети, които са част заобикалящата потребителя среда, може да бъде ползвана като част от успешното реализиране на приемственост. Задачата на дизайнът в ролята си на медиатор е да осъществява взаимодействието между потребителя и робота. Целта е премахването на една от психологическите прегради, стоящи между потребител и робот в тяхната успешна комуникация. Решението на дизайна - частична препратка към форми аналогични на познати предмети, не отхвърля необходимостта от достатъчно съвременна визия, а точно обратното - за добро решение може да се счита това, което прави връзка с класиката и ни пренася в бъдещето към визия, преодоляла психологическата бариера. От съществено значение е реализираната от дизайна форма на робота, така да съчетава отделните изискуеми и изграждащи визията параметри, че да може да бъде премахната бариерата на страх от физически контакт още на ниво на непредубеден потребител. Тук е важно да се отбележи, че потребителите имат по-голяма склонност към взаимодействие с роботи, които имат

хуманоидоподобен дизайн. Необходимо е реализирането на дизайн решения, които имплементират обли, органични и обтекаеми форми, които нямат агресивен характер, поставящ психологическа бариера в комуникацията между ползвател и машина. Този избор има и чисто функционален характер - в случай на падане на робота, благодарение на облите си форми се премахва възможността от наранявания на потребителя [3].

От психологическа гледна точка дизайнът с обли, органични форми има важна роля, тъй като това на подсъзнателно ниво кара потребителя да разбере посланието, идващо от визията, а именно- „Докосни ме. аз съм безопасен. Тук съм да ти помагам.” / На базата на психологическа извадка гласяща, че кръглите форми и умалените такива се възприемат от мозъка като безопасни/.

Също така обтекаемостта на формите, реализирани в робота, позволява елементи от устройството, които са видими /манипулатор, таблет и др. / и предназначени да бъдат в директен контакт с потребителя, да бъдат включени в целостта на робота, ненарушавайки оптичския баланс. Допринасят за неговата добре балансирана съвременна визия, предразполагаща потребителя към активно взаимодействие с робота - без предразсъдъци и опасения от физическия контакт.

1.7.2 Ергономично-антропометрични критерии

Важен критерий за ергономичност на дизайна е максимално улеснения начин на експлоатация, при който с минимално усилие потребителя оперира с робота. Размери като височина, широчина, обем и др. е необходимо да бъдат съобразени с основните ергономични стандартизации за размери на основни битови елементи в жизнената среда /врати, кухненски маси, столове и т.н./. При наличие на интегриран в робота манипулатор или друго сходно устройство в директен контакт с потребителя, то би следвало да се позиционира по начин, позволяващ взаимодействие и експлоатация от хора в изправено, седнало положение, както и с ниско или високо поставени предмети в заобикалящата жизнена среда [78]. Отделните елементи, изграждащи цялостната визия на подобен робот следва да бъдат така поместени в дизайн-решението, че да позволяват оптимално взаимодействие на динамичните елементи с потребителя [3],[80].

1.7.3 Цветови подходи

Цветовата вариативност е съществен процес от изгражданене на дизайна. Цветовата реализация варира поради различното психофизиологично въздействие на цветовете, което

трябва да бъде съотнесено към възрастта на човека, пола му, неговия здравен, социален и икономически статус. [60] Червен цвят – предизвиква усещане за увеличаване на температурата, активизира всички функции на организма; за кратко време увеличава мускулното напрежение, повишава кръвното налягане, ускорява дишането (въздействието на цвета върху вегетативната нервна система). Той се свързва с вълнение, безпокойство, усилва нервното напрежение, повишава нивото на тревожност.; Жълт цвят – тонизира, ободрява, загарява, увеличава мускулната активност; стимулира дейността на ЦНС; Зелен цвят – понижава кръвното налягане и разширява капилярите, успокоява, сменя напрежението; Син цвят – забавя сърдечна активност, действа успокояващо, успокояващото действие може да премине в депресия; Сив цвят - сивото не успокоява, но и не възбужда, създава и вътрешна стабилност, частично изолиране от външни въздействия. Сивото на предизвиква преумора или външно напрежение, „но и носи със себе си отсъствие на съпреживяване“. Действието на оранжевия цвят предизвиква възбуждане, не толкова силно като червеното и затова се предпочита. Създава усещане за благополучие и веселие. Оказва силно стимулиращо влияние върху чувствата. При продължително възприемане може да се появи умора и даже световъртеж. Лекото ускорение на кръвообръщението практически не оказва влияние на кръвното налягане. Незначително участва пулса и дишането. Жълтия цвят предизвиква аналогично, но по-слабо въздействие в сравнение с оранжевото върху пулса и дишането. При въздействие върху нервната система на човека зеленият цвят проявява междинни свойства между топлите и студените цветове. Нормализира кръвното и вътрешното налягане, подобрява остротата на зрението. Намалява размерите на слъпото петно на ретината. Води до нормализиране на дишането и пулса, увеличава продължителността на издишването (в сравнение с топлите цветове), намалява скоростта на мускулната реакция, увеличава леко, но трайно умствената дейност и работоспособност. Благоприятства концентрацията на вниманието. При въздействие на синия цвят продължителността на издишването се увеличава, пулсът става по-бавен и отслабва, почти изчезва чувството за болка. Синьото намалява мускулното напрежение. Интересното при въздействието на виолетовия цвят върху човека е, че от една страна се наблюдава най- висока (от всички студени цветове) степен на забавено дишане, намаляване на дълбочината му и увеличаване продължителността на издишването, забавяне и отслабване на пулса (даже при кратковременно въздействие виолетовият цвят понижава работоспособността повече,

отколкото пълната тъмнина), максимално забавяне на времето за изчислителни действия, а от друга страна - въздействието на виолетовото върху сърцето, белите дробове и кръвоносните съдове води до увеличаване на тяхната издръжливост .

1.8 Комуникация при сервизните теле-управляеми роботи.

Теле-управляемите сервизни роботи се очертават като безценни помощници в различни области благодарение на забележителния напредък на технологиите. Техните способности и възможност за имплементиране в различни сфери и ситуации като здравеопазване, наблюдение, селско стопанство, проучване и реагиране при бедствия и други ги прави от изключителна важност. Тези роботи позволяват на отдалечените оператори да контролират и взаимодействат с роботизирани платформи, което дава възможност за навигация в предизвикателни среди, изпълнение на деликатни задачи и събиране на критични данни. Комуникационните системи играят ключова роля в телеуправлението, като позволяват на операторите да издават команди, да получават обратна връзка в реално време и да имат достъп до жизненоважна информация.

В контекста на сервизните роботи под термина комуникация се разбира начина на осъществяване на връзката между оператора и робота при преноса и обmena на данни. Комуникационните системи позволяват на роботите да споделят информация за своите задачи, позиции и наблюдения, за да работят ефективно заедно. Отдалеченият достъп до роботи чрез комуникационните системи позволява наблюдение в реално време на тяхното състояние, извършваните действия, производителност и диагностика, които са от решаващо значение за тяхната експлоатация и поддръжка.

Роботите получават команди от оператора през системите за управление чрез комуникационните връзки и предават данни от сензорните системи обратно към потребителският интерфейс на оператора, за наблюдение и вземане на решения.

Тези системи отговарят за обmena на данни, контрола и координацията, позволявайки на роботите да работят ефективно в различни среди и ситуации. Главно комуникационните връзки се делят на кабелни и безжични.

1.8.1 Безжична комуникация

- Wi-Fi (802.11)

Wi-Fi е безжична комуникационна технология, която работи в рамките на безжични локални мрежи (WLAN). Поради широкото и интегриране в закрити среди и принципите на работа

на технологията се е положила основата за имплементирането и в телеуправляемите мобилни роботи. Съществуващите Wi-Fi мрежи изградени в дадено пространство позволяват на роботите безпроблемно да се свързват към тях, за да обменят данни и да получават команди от отдалечени оператори или централни системи за управление. Това играе решаваща роля за осигуряване на ефективна комуникация и телеуправление в мобилните роботи. В контекста на дистанционно управляваните мобилни роботи, Wi-Fi осигурява безжична връзка, която позволява на операторите и системите за управление да комуникират и взаимодействат с робота през локалната мрежа. При мобилните роботи с телеуправление предаването на данни без осезаеми забавяния е от съществено значение. Wi-Fi технологията позволява контрол в реално време предоставяйки на операторите възможността да изпращат контролни команди (напр. движение, изпълнение на задача) към робота с минимално забавяне, както и предлага двупосочна комуникация, която позволява на робота и оператора да обменят информация едновременно. Така операторите получават навременната ситуационната осведоменост и информация, постъпваща от робота, необходимата за осъществяването на телеуправлението при динамичното взаимодействие с променящата се околната среда. Важно е да се отбележи, че Wi-Fi позволява предаване на данните от сензори и оперативни регистрационни файлове към облачно базирани платформи. Тези данни могат да се съхраняват, анализират и използват за оценка на ефективността, откриване на аномалии и оптимизиране на поведението на мобилният робот. Въпреки възможностите на Wi-Fi, които предоставя в сферата на телеуправляемите мобилни роботи, тя също така представлява определени предизвикателства, които трябва да бъдат съобразени при нейната имплементация. Wi-Fi сигналите имат ограничен обхват и могат да бъдат повлияни от физически препятствия и смущения от други устройства, работещи на същите честотни ленти. Основните фактори, които са отговарящи за качеството на комуникацията на Wi-Fi мрежите са: изискванията за скорост (bandwidth), тъй като голямо количество данни в секунда могат да вземат значително голяма част от тази скорост (bandwidth), която е лимитирана, което да повлияе негативно на телеуправлението телеметрията от различните сензори. За това заделянето на голям скоростен мрежови капацитет е от решаващо значение за бързото предаване на данни. Друг фактор е латентността. Въпреки, че новите WI-FI стандарти предлагат ниска латентност претоварванията в мрежата или смущения от други устройства могат да доведат до

забавяния. Поради това при приложенията в реално време ще се отчита вариации в латентността. За критични приложения трябва да се вземат мерки за резервиране и механизми за предотвратяване на отказ. Този термин може да се намери в английският език като редъндънси (redundancy). Чести методи за резервиране на една мрежа са добавянето на допълнителни резервни устройства като рутер, суич (switch) и др., които да играят ролята на резерва, като така някой от устройствата в мрежата са взаимозаменяеми. Трябва да се подчертае също така, че Wi-Fi мрежите поддържат различни протоколи за сигурност, като WPA3 (Wi-Fi защитен достъп 3) и WPA2, за защита на данните от неоторизиран достъп и подслушване.

Заради широкото разпространение на технологията в градските среди тя намира добро приложение при мобилните роботи за домашна среда, индустриалната автоматизация и много други приложения, при които роботите работят на закрито. Освен за комуникация между робота и оператора свързани със състоянието на робота и взаимодействието му с заобикалящата среда Wi-Fi мрежите се използват като системи за позициониране, локализиране и навигиране при мобилните роботи. Те ще бъдат разглеждани по-подробно в точката разглеждаща локализацията и навигацията на мобилните роботи в различните режими на управление.

- Bluetooth

Bluetooth често се използва за комуникация на къси разстояния между роботи и периферни устройства, като сензори или смартфони. Bluetooth позволява двупосочна комуникация в реално време, което позволява на робота да изпраща обратна връзка и телеметрични данни обратно към устройството на оператора при наблюдаване или задаване на команди от страна на оператора. Тази обратна връзка може да включва информация за текущото състояние на робота, отчитания от различните сензори, нивото на батерията и др. Така операторът следи за действия и измененията в заобикалящата среда на робота, производителността и взаимодействията на робота с обкръжението му и позволява на оператора да взема информирани решения въз основа на постъпилите данни.

Bluetooth комуникацията обикновено работи в ограничен обхват, които в зависимост от класа на Bluetooth (клас 1, клас 2 или клас 3), като устройствата от клас 1 имат най-дълъг обхват до 100 метра. Това ограничение на обхвата поражда необходимостта операторът да бъде в определена близост до робота с цел поддръжка на комуникацията и контрола.

Bluetooth технологията е известна със своята енергийна ефективност, особено при внедряване на Bluetooth Low Energy (BLE). Тази ниска консумация на енергия е от съществено значение за мобилните роботи, тъй като помага да се запази живота на батерията на робота по време на продължителни сесии за телеоперация. Важно е да се отбележи, че Bluetooth технологията е широко поддържана и стандартизирана технология, осигуряваща съвместимост между множество различни устройства и платформи. Операторите на телеуправляеми мобилни роботи с интегрирана Bluetooth технология могат да използват своите смартфони или таблети, независимо от производителя или операционната система, за да контролират телеуправляемите роботи. Така гореупоменатото изложение на технологията дава възможност за нейното имплементиране в множество среди като:

- Образователна роботика за запознаване на ученици с основите на роботиката, програмирането и дистанционното управление.
- Проучване, изследване и наблюдение в труднодостъпни или опасни среди. Това позволява интегрирането на технологията при роботи за наблюдение с приложения в сигурността, предоставяйки видео емисии на живо на операторите.
- При роботите за почистване или наблюдение на домашната среда, като това позволява на потребителите да могат да контролират тези роботи с помощта на своите смартфони или таблети.
- Научноизследователска и развойна дейност: Изследователите и разработчиците могат да използват роботи, контролирани от Bluetooth, като платформи за тестване на нови алгоритми, сензори и системи за управление.

Трябва да се отбележи, че Bluetooth технологията се използва активно като метод за локализация и навигация при сервизните роботи в различните видове телеуправление. [8]

1.8.2 Сателитна комуникация

Със сателитната комуникация теле-управляемият сервизен робот може да бъде управляван и следен дори на отдалечени места, където няма наличие на стандартни мобилни или Wi-Fi мрежи. Сателитните комуникации предоставят възможността за глобална свързаност за телеуправляемите сервизни роботи, като по този начин се позволяват операции в отдалечени и враждебни среди. Посредством глобално покритие, което осигуряват на телеуправляемите роботи се предоставя възможността да работят в морски или по друг начин недостъпни райони. По този начин роботите могат да изпълняват задачи в райони, засегнати

от бедствия, с непрекъсната връзка. Сателитните връзки дават възможност за телеуправление в реално време, което позволява на операторите да управляват роботите от всяка точка на планетата. Операторите получават актуализации в реално време за състоянието на робота, посредством от предаването на данни от сензорите на телеуправляемите роботи.

По този начин роботите, оборудвани с камери теле-управляеми сервизни роботи могат да предоставят на операторите видео предаване на живо, което да даде на оператора необходимата осведоменост за ситуацията, в която взаимодейства робота към даденият момент.

При мобилните теле-управляеми роботи сателитните GPS системи предоставят възможността за точно позициониране и навигация. Данните от GPS осигуряват точно движение на робота и проследяване на местоположението му, дори в отдалечени райони. Трябва да се отбележи, че в зависимост от времето при неблагоприятните метеорологични условия, могат да отслабят сателитните сигнали и да повлияят на качеството на комуникацията.

В [71] представят разработка на теле-управляем мобилен робот, предназначен за операции за търсене и спасяване. В робота са имплементирани различни сензори, GPS, RFID и др. Роботът може да наблюдава околната среда, да осигурява заснемане и обработка на изображения, да открива събития, представляващи интерес, и да прехвърля информация за позиция, състояние и събитие. В статията се разглеждат принципът и структурата на системата, методите за разпознаване и алгоритъмът за търсене и задвижващият механизъм. В статията се обсъжда, че комуникацията за роботите за търсене и спасяване може да бъде осигурена чрез сателитни, клетъчни или комбинация с други методи като например клетъчни. Авторите също така споменава, че при определени условия GPS има затруднения при осигуряване на надеждни позиции при лоши условия на сигнала, а GPRS през GSM може да се използва за осигуряване на излишък на комуникация за роботи за търсене и спасяване.

В [61] авторите на научния доклад описват разработването на мобилна роботизирана система и метод за навигация на открито, базиран на глобалната навигационна спътникова система (GNSS) както и нейното поведение при участието в състезанието за навигационно на автономно мобилно роботи, наречено Tsukuba Challenge, проведено в Цукуба, Япония,

през 2011 и 2012 г. Те предлагат метод, който включва GNSS позициониране, IR камера и метод за интегриране на GNSS и DR с помощта на разширен Калман филтър. Предложеният метод се оценява в действителни изпитвания, проведени в средата на Tsukuba Challenge, а авторите заключават, че той е осъществим и дава възможност за непрекъснато оценяване на позициите на роботите надеждно в условия на външна среда. Статията също така обсъжда свързаната работа в областта на навигационните методи за мобилни роботи във външна среда, включително съвпадение с 2D / 3D карта и лазерни скенери, и идентифицира оставащите предизвикателства при използването на GNSS-базирани методи за автономна навигация от роботи. В документа се обсъжда използването на глобални навигационни спътникови системи (GNSS), както и GPS за оценка на позицията на мобилните роботи във външна среда.

1.8.3 Клетъчна комуникация

Клетъчните мрежи, и най-вече 4G и 5G технологиите, дават възможност за широк спектър от приложения на телеуправляемите мобилни роботи. Клетъчните комуникации са изградени на базата на мрежа от взаимосвързани базови станции, които осигуряват покритие над дадени географски райони, наречени клетки. Роботите могат да използват клетъчни мрежи, за да комуникират на по-големи разстояния, което ги прави подходящи за осъществяване на дистанционно наблюдение и контрол. Технологиата поддържа двупосочна комуникация, което позволява на робота и оператора да обменят съобщения и данни едновременно. Роботи, оборудвани с камери и сензори, могат да предават видео на живо на операторите. Това позволява на оператора да осъществява непрекъснато дистанционно наблюдение и контрол върху телеуправляемия мобилен робот. Скоростта на предаване на данни варира в зависимост от мрежата (3G, 4G, 5G). Също така клетъчните мрежи предоставят възможност на устройствата да имат достъп до интернет и онлайн услуги. Клетъчната комуникация позволява осъществяване на обмен на данни, контрол, наблюдение и прецизно управление в реално време. Тези възможности са дали основание технологията да се интегрира в телеуправляемите мобилни роботи.

Един от най-забележителните приноси на клетъчните мрежи, особено на 5G, е драстичното намаляване на латентността, което позволява управление в реално време, без на практика да има забавяне. Това е от решаващо значение за приложения, при които прецизността е от първостепенно значение, като например реакция при бедствия.

Значителното увеличение на честотната лента, предлагано от 4G и 5G мрежите, подобрява осезаемо работа на роботите. Роботите, оборудвани с камери с висока разделителна способност, LIDAR и други сензори, могат да предават огромни количества данни в реално време. Така операторите получават подробна обратна връзка с висока резолюция от сензорите на робота, което подобрява ситуационната осведоменост и вземането на решения. Характеристиките на 4G мрежите с ниска латентност позволяват на операторите да управляват роботи с минимално забавяне. Теле-управляемите роботи често се разполагат в динамична и разнообразна среда, а 4G мрежите осигуряват необходимата мобилност и покритие. Въвеждането на 5G, петото поколение мобилни комуникационни технологии, от своя страна поставя началото на ера на безпрецедентна свързаност, скорост и надеждност. Благодарение на характеристиките на мобилните мрежи и най-вече на 4G и 5G се появяват нови възможни реализации на мобилните роботи. Пример за това е реализираната в [18] разработката на мобилен робот, предназначен да помага на хора със зрителни увреждания в навигацията им в околната среда. Роботът използва сонар за откриване на препятствия и камера на смартфон за разпознаване и класификация на препятствията. Реализираната система за наблюдение в реално време се използва за придружаване на лицата с увредено зрение, по време на тяхната навигация и придвижване, и им предоставя дистанционно помощ чрез гласови обаждания в случай на открити на улицата проблеми, възпрепятстващи придвижването.

Авторите на научния доклад [7] анализират ефективността и производителността на 4G мобилните връзки за данни за предаване на телеметрични данни в реално време към мобилни селскостопански роботи. Изследването изследва изискванията в реално време за осигуряване на дистанционно управление на селскостопански роботи и очертава резултатите от анализа. Документът предоставя подробности за хардуерната конфигурация, използвана за тестовете, и различните безжични технологии, сравнени в таблица 1 от научният доклад. Статията разглежда предимствата от използването на мобилен интернет за управление на роботи и сравнява различни безжични технологии. След проведените от научния колектив на доклада тестове се установява, че 4G е в състояние да предава данни в реално време с високи изисквания за честотна лента. Статията също така предоставя препоръки за по-сигурно и точно управление на процеса с помощта на различни VPN или други сигурни връзки.

1.8.4 Кабелна комуникация

В някои случаи при сервизните телеуправляеми роботи комуникацията се осъществява посредством кабелна връзка за високоскоростна и надеждна комуникация, когато други решения не са приложими за дадената ситуация. Това може да се види ясно изразено при ситуации, които включват екстремни и аварийни сюжети. Както посочват авторите в [36] при бедствията в южната част на Япония, в следствие на земетресения и тсунами през 2011 година също се поврежда и АЕЦ "Фукушима Даиичи", което води до аварии и изпускане на радиоактивни материали. При извънредната ситуация се налага да бъдат измерени нивата на радиация след нанесените по АЕЦ-а щети. Заради нивата на радиация зоната е твърде опасна, което поражда необходимостта от използва мобилна роботизирана технология за такива изследователски мисии, вместо хора. ъвместна изследователска група на авторите на доклада с подкрепата на Организация за развитие на нови енергийни и индустриални технологии -NEDO, изследва и разработва верижни мобилни роботи за подпомагане на спасителните екипи в мисии за търсене и спасяване в опасни среди. " В проекта на NEDO разработихме хибридна мрежа, която включваше кабелна мрежа и безжична мрежа за теле-работа на множество роботи на широка площ . В тази мисия целевата зона не беше много голяма. Сградите на реактора обаче съдържат много дебели бетонни стени, които блокират гама лъчите, което прави много вероятно те да блокират радиокомуникацията. Ето защо беше необходима кабелна комуникация, за да се поддържа надеждността в тази мисия“. Също така авторите в [37] акцентират върху това, че „Кабелните и безжичните комуникационни системи са използвани за работа с мобилни роботи в затворени, засегнати от бедствия пространства. Физическото прекъсване на връзката и заплитането на кабелите и дестабилизирането на качеството на комуникацията при безжичните комуникации обаче са проблеми, които възпрепятстват внедряването на мултироботна система в затворени пространства“.

1.8.4 Някои комуникационни протоколи

TCP/IP: Протоколът за управление на предаването/Интернет протокол (TCP/IP) е основата на комуникацията в интернет и обикновено се използвани в телеуправляемите мобилни роботи, за да позволят комуникация и обмен на данни, особено в ROS (операционна система за роботи) среди. TCP / IP осигурява надежден и стандартизиран начин за предаване на данни между телеуправляемия робот и отдалечения оператор или контролна станция. Това е

от решаващо значение, за да се гарантира, че командите от оператора се приемат точно от робота и че данните от сензора или видеото от робота се предават надеждно обратно на оператора. TCP разбива данните в пакети за предаване по мрежата. Всеки пакет съдържа част от данните заедно с адресиране на информация. Това помага за ефективен трансфер на данни и повторно сглобяване в получаващия край. Протоколът включва механизми за проверка на грешки, за да се гарантира целостта на данните. Ако даден пакет бъде загубен или повреден по време на предаването, TCP ще го препредаде отново, като гарантира, че данните са получени точно. Това е от съществено значение за телеуправлението, където дори малки грешки могат да имат значителни последици. При телеуправлението на мобилни роботи поддържането на правилната последователност от команди и обратна връзка е от решаващо значение за безопасната и ефективна работа на робота. Посредством TCP се гарантира, че пакетите с данни се доставят в реда, в който са изпратени. Също така TCP използва механизми за контрол на потока, за да предотврати претоварването с данни. Той гарантира, че данните се изпращат със скорост, която получаващият край може да обработи. Това е важно при телеуправлението, за да се избегне претоварването на робота или контролната станция на оператора.

Интернет протоколът (IP) е отговорен за адресирането и маршрутизирането на пакетите данни до техните целеви дестинации (IP адресиране). В случая на телеуправляемите мобилни роботи всеки робот и контролна станция има уникален IP адрес. Това адресиране позволява комуникацията да се осъществява през локални мрежи или интернет. При телеуправляемите мобилни роботи сигурността на комуникацията е от съществено значение. TCP/IP може да се използва заедно с различни протоколи за сигурност (напр. VPN, криптиране) за защита на комуникационните канали между робота и оператора, предотвратявайки неоторизиран достъп или прихващане на данни. Важно е да се отбележи, че въпреки че TCP/IP предоставя надеждност и механизми за корекция на грешки, използването му може да доведе до някаква забавяне в предаването на данни поради процесите на пакетиране и проверка на грешки. Това може да бъде критично в телеуправляемите системи, особено в приложения, които изискват реално време за контрол. С TCP/IP се осигурява възможност за отдалечен достъп до телеуправляемите роботи от практически всяко място с интернет връзка. Тази възможност е от изключително значение за разнообразни приложения, на които са способни сервизните теле-управляеми роботи.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

MQTT, или Message Queuing Telemetry Transport, е олекотен протокол за публикуване и абониране на съобщения (publish/ subscribe), предназначен за ефективна комуникация между устройства, особено в сценарии, при които честотната лента може да е ограничена, а условията на мрежата - ненадеждни. Той често се използва в приложенията на IoT (интернет на нещата), но е много приложим и за мобилни телеуправляеми роботи като позволява на роботите да изпращат и получават данни ефективно.

Характеристики на MQTT:

- Модел публикувай-абонирай (англ. publish- subscribe model): MQTT следва архитектура за публикуване-абониране, където устройствата (или клиентите) могат да публикуват съобщения до конкретни "теми", а други устройства се абонират към тези теми, за да получат съобщенията. Този модел позволява ефективно комуникация един-към-много и много-към-един.
- QoS (качество на услугата) нива: MQTT осигурява различни нива на QoS, за да се гарантира надеждност на доставянето на съобщения. Тези нива варират от 0 (Най-много веднъж, без гаранция) до 2 (Точно веднъж, гарантирано).
- Запазени съобщения: MQTT позволява на брокера да запази последното съобщение, изпратено по дадена тема. Когато нов абонат се присъедини, той веднага получава най-новото съобщение на запазена тема.
- LWT (абривиатура от англ. last will and testament): Позволява на клиентите да посочат съобщение, което брокерът ще публикува от тяхно име, ако клиентът неочаквано прекъсне връзката. Това е полезно тъй като ще позволява на робота да премине в офлайн режим.
- MQTT е проектиран по начин, който го прави подходящ за устройства с ограничени ресурси.
- Ефективен трансфер на данни: MQTT използва двоичен формат на съобщенията, който е високоефективен за пренос на данни, което го прави идеален за предаване на сензорни данни или контролни команди в реално време.
- Предаване на сензорни данни: Роботите, оборудвани със сензори, като например камери, LIDAR или сензори за околната среда, могат да публикуват данни в теми на MQTT. Тези

показания на сензорите, изображения или актуализации на състоянието могат да се предават в реално време на централна система за управление или на отдалечен оператор.

- Команди за управление: MQTT позволява предаването на команди за управление от централната система за управление или от отдалечен оператор към робота. Команди за движение, изпълнение на задачи или други действия могат да бъдат публикувани в теми на MQTT, а роботът се абонира за тези теми, за да получава и изпълнява командите.
- Актуализации на състоянието: Телеуправляемите роботи могат да публикуват актуализации на състоянието и телеметрични данни в теми на MQTT. Може да се предава информация като състояние на батерията, състояние на системата или данни за локализация, за да може централната система за управление или операторът да наблюдават състоянието на робота в реално време.
- Качество на услугата (QoS): Нивата на QoS на MQTT могат да се избират въз основа на специфичните изисквания на задачата за телеоперация. Например данните от сензори могат да се предават с QoS 0 за ниска латентност, докато критичните команди за управление могат да използват QoS 1 за гарантирана доставка.
- Ниски режимни разходи: Ефективността на MQTT и ниските режимни разходи са предимство при сценарии, при които широчината на честотната лента може да е ограничена или при които е важно да се сведе до минимум въздействието на комуникацията върху ресурсите на робота.
- Интеграция със софтуера за управление на робота: MQTT може да бъде интегриран в софтуера за управление на робота или в междинния софтуер, което му позволява да комуникира безпроблемно с други устройства и системи в работната му среда.

WebSockets

WebSocket е мощен протокол за комуникация, който предлага двупосочен и пълнодуплексен обмен на данни в реално време между клиенти и сървъри чрез една-единствена дълготрайна връзка. В областта на телеуправляемите мобилни роботи, позволява безпроблемна, нискозакъснителна и интерактивна комуникация между операторите или централните системи за управление и отдалечените роботизирани платформи.

WebSocket позволява едновременна двупосочна комуникация между клиенти (например отдалечени оператори) и сървъри (роботи или системи за управление). Той поддържа пълнодуплексна комуникация, което означава, че двете страни могат да изпращат и да

получават данни независимо и едновременно. WebSocket осигурява комуникация в реално време с ниска латентност, поради което намира приложение при мобилните телеуправляеми роботи, тъй като управлението на роботите и получаването на обратна връзка е без забележими закъснения. Това позволява на операторите да могат да изпращат на робота команди за управление (напр. завдигване, регулиране на скоростта) и роботът да може да реагира незабавно на тези команди. Също така WebSocket позволява видео и аудио предаване на живо от камерите и микрофоните на робота към интерфейса за управление на оператора, посредством което оператора получава необходимата осведоменост, за да може да задава по-следващи команди. Трябва да се отбележи възможността на WebSocket да бъде конфигуриран да използва защитени връзки (wss://), като криптира предаването на данни, за да защити чувствителна информация. Могат да се приложат мерки за сигурност, включително удостоверяване и оторизация, за да се гарантира, че само оторизирани оператори могат да управляват робота.

1.9 Теле-управление на сервизните роботи

Посредством теле-управлението сервизните роботи разширяват своите среди на имплементация и функционалностите, които могат да имат. Няколко важни аспекта на телеуправлението са: тип, режим, ниво на автоматизация. В контекста на сервизните роботи теле-управлението се отнася до дистанционното управление на движенията и действията на робота от оператор-човек с помощта на интерфейс за управление. Този тип управление често се използва, когато роботът трябва да изпълнява задачи в среда, която е трудна за навигация на автономните системи, или когато задачата изисква човешка преценка и вземане на решения.

Типът на използваната телеоперация зависи от нивото на контрол, изисквано от оператора. Напълно ръчната телеоперация включва пряк контрол на движенията и действията на робота от страна на оператора, докато полуавтономната телеоперация осигурява ниво на автоматизация, което подпомага оператора при управлението на действията на робота. Това може да включва функции като избягване на препятствия и планиране на пътя, които позволяват на робота да се ориентира по-ефективно в околната среда.

Използваният режим на телеоперация определя нивото на взаимодействие между човека-оператор и робота. При контролираната телеоперация операторът дава указания на

високо ниво на работа, докато при полуконтролираната автономна телеоперация роботът може да изпълнява някои задачи самостоятелно, като все още е контролиран от оператора. При полуавтономната телеоперация роботът е в състояние да изпълнява повечето задачи самостоятелно, но операторът все още може да се намесва, когато е необходимо. И накрая, при напълно автономната телеоперация роботът работи напълно автономно, без да има нужда от човешка намеса.

Нивото на автоматизация при телеоперацията се отнася до степента, в която роботът е в състояние да работи самостоятелно без човешка намеса. При напълно ръчната телеоперация роботът е изцяло зависим от оператора за насочване и контрол. При полуавтономната телеоперация роботът е в състояние да изпълнява някои задачи самостоятелно с помощта на оператора, а при напълно автономната телеоперация роботът е в състояние да работи напълно самостоятелно без човешка намеса. Роботизираната платформа може да бъде посочена като автономен робот или телеуправляем робот в зависимост от степента на взаимодействие с оператора. От голямо значение е класификацията на авторите в [45] които обяснят разграничаването на телеуправляем робот от автономен, доказвайки, че всъщност има нещо като континуум.

В контекста на сервизните работи теле-управлението представлява различни методи за дистанционно управление и насочване на работи. Чрез прилагането на тези методи на хората се позволява да разширят обхвата и възможностите си отвъд физическите си ограничения. Има широк спектър от методи за прилагане на телеоперация в мобилни работи. Всеки метод има своите специфични предимства и предизвикателства, допринасяйки за разнообразния спектър от възможности за теле-управление.

Има няколко стандартни метода за телеуправление, които са добре проучени и разработени. Това са:

- Управление, базирано на джойстик

Използването на традиционни физически или виртуални джойстици за контрол на роботизирани движения е особено полезно за наземни работи в контролирана среда. [58]

- Управление, базирано на жестове

Позволява на потребителите да насочват роботите чрез жестове, улеснявайки интуитивното взаимодействие и комуникация. [67]

- Haptic Feedback Control

Интегриране на хаптични механизми за обратна връзка, които позволяват на потребителите да усещат и контролират роботизирани движения, осигурявайки прецизност при задачи като хирургични процедури. [57]

- Добавена реалност (AR) и виртуална реалност (VR)

Потопяне на потребителите във виртуална среда, където те могат да контролират работи с помощта на интуитивни жестове или команди. [33]

- Гласов контрол на командите

Позволява на потребителите да навигират работи и да изпълняват задачи с помощта на гласови команди, подходящи за сценарии, при които контролът със свободни ръце е от съществено значение. [4]

Освен споменатото по-горе, има много повече методи за прилагане на телеуправление в мобилни работи, като тези, базирани на мозъчно-компютърен интерфейс и изкуствен интелект [65]. Тези методи обаче са много сложни, скъпи и се нуждаят от по-нататъшно развитие и изучаване [14], [30].

1.10 Взаимодействие човек-робот в контекста на многофункционални теле-управляеми сервизни работи

Взаимодействието човек-робот (HRI) е мултидисциплинарна развиваща се област, чиято цел е постигането на безопасно, продуктивно и безпроблемно сътрудничеството между хората и роботите. Терминът обхваща широк спектър от аспекти, в това число физическо, когнитивно и емоционално взаимодействие, обратна връзка и комуникация, сигурност и доверие, етични и социални съображения, дизайн на потребителския интерфейс, механични характеристики, ергономия, характеристики на дизайна и т.н.

Взаимодействието човек-робот в контекста на многоцелевите теле-управляеми сервизни работи е решаващ аспект при тяхното проектиране, тъй като пряко влияе върху ефективността, безопасността и използваемостта на робота. В случаите, при които хората дистанционно контролират и си сътрудничат с роботите, ефективното взаимодействие човек-робот става още по-важно. Неговото постигане подобрява способността на робота да изпълнява сложни задачи, увеличава производителността на оператора и гарантира безопасността на операциите в различни области на приложение, вариращи от здравеопазване и спасителни операции при бедствия и аварии до индустриална автоматизация и изследване на космоса и водните дълбини.

Главните насоки за постигане на ефективно взаимодействие човек-робот са свързани с:

- Проектиране на интуитивни интерфейси за управление, които са удобни за оператора и изискват минимално усилие. Интерфейсът трябва да позволява на операторите лесно да командват движенията, действията и сензорите на робота и да може да се персонализира към предпочитанията и нивата на умения на различните оператори. Дизайнът на контролните станции е необходимо да е ергономичен и да осигурява комфорт на оператора по време на продължителни сесии за телеоперация.
- Намаляване на когнитивното натоварване на оператора чрез въвеждане на споделени режими на управление, при които робота автономно подпомага навигацията и избягването на препятствия.
- Предоставяне на обратна връзка в реално време на операторите, включително видео изображения на живо от камерите на робота, данни от сензори и актуализации на състоянието, хиптични обратни връзки. Това засилва усещането на оператора за допир и контрол и повишава осведомеността за ситуацията. HRI включва определяне на баланса на контрола между хората и роботите. В някои сценарии хората имат пълен контрол, докато в други роботите работят автономно.
- Прилагане на механизми за безопасност, включително бутони за аварийно спиране и системи за откриване на препятствия, за да се гарантира безопасността както на оператора, така и на робота. Когато хората и роботите работят заедно по задачи, механизмите за координация и сътрудничество са от съществено значение за осигуряване на ефективност и безопасност.
- Внедряване на криптиране и контрол на достъпа, особено в случаите при които роботът улавя чувствителни данни или работи в специална среда. Взаимодействията човек-робот могат да варират в зависимост от културните норми и социалния контекст. Разбирането на тези фактори е от съществено значение за успешното внедряване.
- Отговорно използване на роботите в контекста на етичните аспекти на взаимодействието човек-робот, като поведение на робота, вземане на решения и отчетност. Изграждането на доверие между хората и роботите е от решаващо значение. От една страна надеждната работа, прозрачността и предвидимостта на поведението на робота допринасят за постигане на такова доверие. От друга за постигане на доверие е важно хората да вярват, че роботът ще изпълнява задачите надеждно и безопасно.

Изводи към ГЛАВА I:

1. Въз основа на направения обзор на стратегическите политики и документи за развитие на технологичния сектор може да се направи заключение, че разработването и внедряването на сервизни роботи е необходимост.
2. В ГЛАВА I са представени ключовите аспекти, на базата на които е разработен многоцелевия теле-управляем сервизен робот в настоящия дисертационен труд. Въз основа на така направената теоретична обосновка се извеждат следните изводи:
 - На база на функционалностите, които роботът ще извършва, съотнесено към средите, за които е предвиден, в многоцелевия телеуправляем робот ще бъде интегрирано директно и полуавтономно теле-управление.
 - Ще се реализира универсална четириколесна мобилна робот-платформа с диференциално задвижване, която удовлетворява бъдещата интеграция, за която е предназначен многоцелевия сервизен робот.
 - Модулите на разработения многоцелеви сервизен робот ще се заменят без необходимост от цялостен демонтаж на конструкцията на робота и използването на сложни инструменти.
 - Разработеният робот ще бъде конструиран по начин, който позволява интеграцията му в различни видове среди. Конструкцията и дизайна следва да бъдат съобразени с основни ергономични изисквания не само по отношение на експлоатацията и ремонтпригодността на изделието, но и такива съотнесени към взаимодействието човек-робот и обектите, намиращи се в заобикалящата робота среда.

ГЛАВА II: ДИЗАЙН НА МНОГОЦЕЛЕВИ ТЕЛЕ-УПРАВЛЯЕМ МОБИЛЕН РОБОТ

2.1 Механичен дизайн

2.1.1 Универсална мобилна платформа на многоцелевия робот

Универсалната платформа (фигура 12) има за цел да даде възможност за лесно монтиране на допълнителни модули, които поставени на робота да позволяват изпълнението на специфични задачи в различни среди и да разширят неговите функционални възможности. В зависимост от модула, който се свързва към платформата тя може да бъде с две, три или четири плочи. Те са изработени от полиетилен с висока плътност (HDPE). Дебелината на всяка от плочите е 9,5 мм, а крайните точки за всяка плоча описват кръг с диаметър 450 мм. Всяка от плочите се фиксира към следващата плоча с помощта на група от четири пръта, с диаметър 12,5 мм на всеки от прътите.



Фигура 12. 3D изображение на проектираната мобилна роботизирана платформа

Разстоянието, което прътите осигуряват между плочите, е както следва: 152 мм между първата и втората и 127,5 мм между втората и третата, като плочите се номерират по ред, започвайки от повърхността, върху която е поставен роботът. Под първата плоча е разположена допълнителна плоча с размери 336,6 мм x 177,8 мм с дебелина 9,5 мм. Разстоянието между допълнителната плоча и първата плоча е 78 мм, измерено от долната повърхност.

Височината, измерена от повърхността, върху която е поставен роботът, до върха на първата плоча е 106 мм. В първата и втората плоча се прави разрез с размери 165 мм x 38 мм външно, допирателно към всяка от плочите. Разрезът в първата плоча се използва за поставяне на задвижващите колела в допълнителна по-малка плоча, прикрепена под първата плоча, върху която са монтирани електрическите двигатели на задвижващите колела, както и задвижващата батерия.

Платформата е оборудвана с четири колела за придвижване на робота: две диференциално задвижвани колела с диаметър 155 mm и две помощни колела, разположени в предния и задния край, с диаметър 76 mm. Колелата са прикрепени към ос с диаметър 12,75 mm. Конструираната платформа е с диференциално задвижване, което дава възможност за управление на движенията на робота чрез регулиране на скоростта на въртене на двете колела. Двете задвижващи колела, както и батерията, която ги захранва, и колелата са прикрепени под първата плоча. Задвижващите колела се задвижват от два четкови мотора с мощност 96 W всеки, с червячна предавка, работещи при напрежение 12V, оборудвани с 36-позиционни дискови енкодери. Моторният възел генерира приблизително 85 инча/Lbs въртящ момент. Върху горната плоча са монтирани камера и LIDAR, чрез които се осъществява телеуправлението.

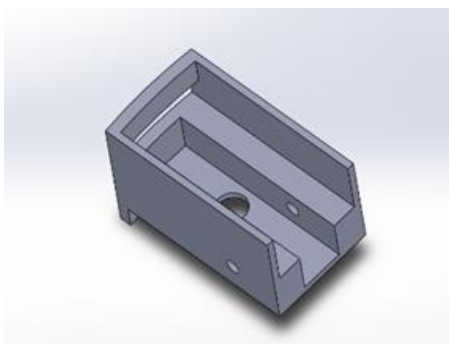
Допълнителни сензори за откриване са поставени на долната плоча.

Размерите на платформата са съобразени със средите и функционалностите, за които е предвидена експлоатацията на робота. За реализацията на 3D конструкцията са използвани специализирани софтуери за проектиране – SolidWorks и Fusion 360.

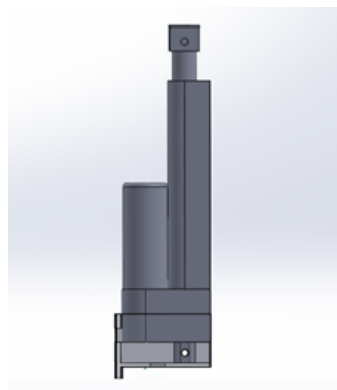
2.1.2 Модули на многоцелевия робот

2.1.2.1 Модул с повдигаща платформа

Чрез този модул роботът може извършва доставка и складиране на стоки в магазини и складове. За целите на повдигането на опаковани доставки се добавя 4-та плоча към горната плоча на мобилната роботизирана платформа. За целите на повдигането на опаковани доставки се добавя 4-та плоча към горната плоча на мобилната роботизирана платформа. Четвъртата плоча е монтирана върху четири линейни мотора чрез 8 L-образни профила - по 2 за всеки линеен двигател. Линейните задвижващи механизми са свързани към 3-та платформа на робота с помощта на специално проектирани слотове, които са фиксирани върху 3-та платформа чрез болтова връзка. Размерите на слота, предназначен за линейния задвижващ механизъм, са 80mm x 46mm x 45mm (дължина / ширина / височина). Направена е допълнителна скосяване от слота до 3-та плоча, коцентрична към плочата, за по-нататъшна стабилност на слота. Проектиран е канал с ширина 18,4 mm и височина 18 mm, в който е поставена долната част на задвижващия механизъм, както и отвор в долната част на слота с диаметър 12,5 mm, използван за закрепване към 3-та плоча чрез болтова връзка.



Фигура 13. Проектираните слотове за линейните задвижващи механизми



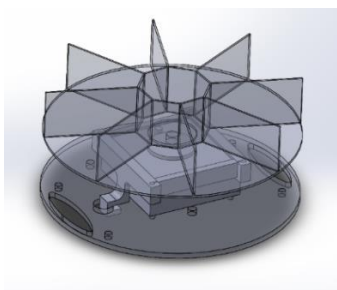
Фигура 14. Задвижващ механизъм на повдигащата платформа

От двете страни на слота са проектирани отвори с размери 6 мм, които се използват за фиксиране на линейния задвижващ механизъм на място. Освен това в задната част на слота е направен разрез с размери 40mm x 12mm, през който преминава захранващият кабел на задвижващите механизми.

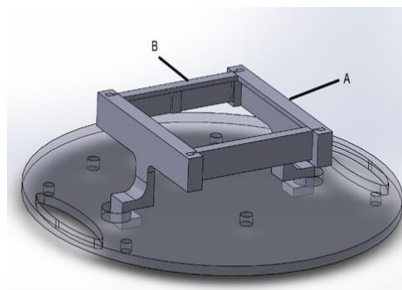
Линейният задвижващ механизъм, използван в разработката, е 12 волта с 90 кг максимална товароносимост. Задвижващият механизъм използва потенциометър за обратна връзка. Размерите на задвижващия механизъм [81] със стъстена дължина са 75 x 40 x 258. Ходът на задвижващия механизъм е 100 мм. В долната и горната част са проектирани 6 мм отвори, през които се закрепва. L-образните профили за закрепване на задвижващия механизъм към 4-та плоча са 20mm x 20mm x 25mm с дебелина на стената 2 mm.

2.1.2.2 Модул с ротационна маса

Въртящата се маса се състои от две общи части - основно тяло, в което са поставени компонентите за управление и задвижване и ротационен диск с прорези за съхранение и транспортиране на продукти.



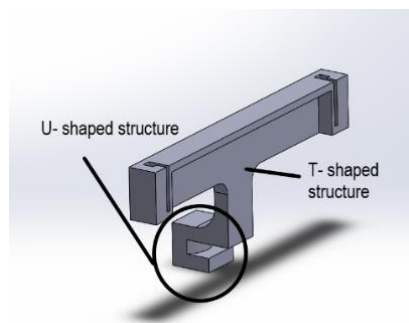
Фигура15. Ротационна маса и начин на захващане към плочата на работа



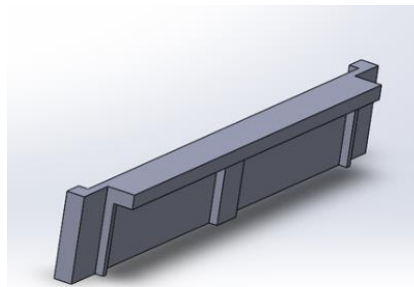
Фигура16. Рамката за фиксиране на ротационната маса- детайли А и Б

Проектираният модул се закрепва към робота чрез рамка, която се монтира към горната плоча. Конструкцията на рамката се състои от две двойки компоненти за по-лесно монтиране към основното тяло на въртящата се маса. Основното тяло е с размери 177мм x 177мм x 65мм /ширина x дължина x височина/. Дебелината на използваната ламарина е 2 мм. Прикрепени към дъното му, разположени на 6 мм от всеки от ъглите, са поставени 4 гумени крачета с диаметър 20 мм и височина 11 мм за допълнителна стабилност. Между основното тяло и въртящия се диск предавката за въртеливо движение е разположена външно, като големите и малките зъбни колела са със съответни диаметри от 85 мм и 13 мм. Разстоянието между дъното на въртящия се диск и горната част на основното тяло е 35 мм. Диаметърът на въртящия се диск е 450 мм. В центъра на въртящия се диск е поставен правилен осмоъгълник със страна 50 мм. Всеки от 8-те слота, разположени на 45 градуса един от друг, има външна дължина на свода 225 мм и дължина, измерена от центъра на арката до съответната страна на осмоъгълника от 164,6 мм. Слотовете също са изработени от ламарина с дебелина на листа 1,5 мм. Височината на всеки слот е 90 мм.

Рамката за монтиране на въртящата се маса към горната плоча на робота е изградена с помощта на 3D принтер. Състои се от две двойки идентични елементи: част А и част Б, които са показани на фигура 17 и фигура 18. Двата елемента се плъзгат един в друг.



Фигура 17. Детайл А



Фигура 18. Детайл Б

Част А има U-образен профил. Рамката, фиксираща въртящата се маса, е прикрепена към горната плоча на мобилния робот с помощта на двата U-образни профила, чиито вътрешни страни са допирателни към отворите, в които влизат. Част Б влиза в специално проектираните канали на част А, като по този начин затяга противоположните части и сглобява рамката. Детайл А е комбинация от Т-образен профил, който се поставя в

основното тяло на въртящата се маса и U-образен профил за закрепване към горната плоча. Т-образната част има следните размери: 213мм x 20мм x 35мм. Дебелината на профила е 5 мм. U-образната част има радиус 17,5 мм в частта, допирателна към отвора и обща ширина 28,5 мм. Каналите за сглобяване на рамката са 15мм x 6,5мм. Детайл Б има следните размери, описани от крайните му точки: 187 x 16,5 x 30 мм /дължина x ширина x височина/. Три допълнителни ребра са проектирани от вътрешната страна на детайла, за да поддържат допълнително хоризонталното фиксиране на въртящата се маса. Дебелината на профила на частта е 3 мм, а за оребрените части с допълнителна опора е 6 мм. Чрез проектирането на такава 3D отпечатана рамка, и в двата случая на нейната работа и движение на робота, се постига желаната стабилност и фиксиране на въртящата се маса.

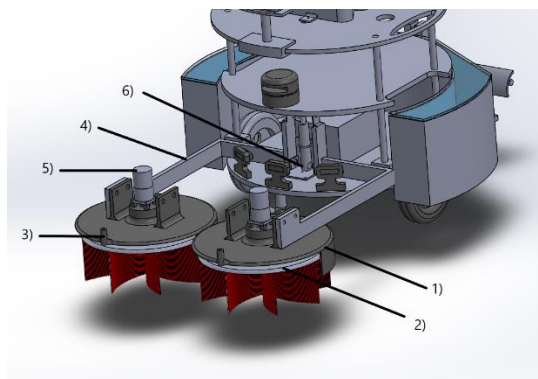
Проектирането е извършено със специализиран софтуер, който позволява реализацията на подобен вид конструкции - SolidWorks и Fusion 360.

2.1.2.3 Почистващ модул

Модулът за почистване се състои от няколко отделни системи, които могат да работят едновременно или независимо. Първата система е комбинация от две еднакви въртящи се четки [84], свързани с механизъм, който им позволява да се спускат или повдигат в зависимост от това дали роботът само се движи или е в режим на почистване. Втора спомагателна система е комбинация от преносим резервоар с резервоарна помпа, която при необходимост изпуска почистващ препарат или вода през дюзи [85][86], разположени пред въртящите се четки. Другата подсистема, която допринася за процеса на хигиенизиране представлява регулируема гумена четка, която подобно на въртящите се четки се движи вертикално с помощта на линеен задвижващ механизъм, и втора UV лампа са монтирани към резервоара, в задната част на робота

Механичната система с въртящи се четки (фиг. 19) е проектирана така, че да осигурява контакт с повърхността, която се почиства по всяко време, когато е активна и роботът извършва процеса на хигиенизиране . В най-ниско положение, когато четките са активни, конструкцията осигурява достатъчно налягане за извършване на технологичната процедура. Активирането на системата за изпускане на препарата се извършва от оператор и се определя от вида на помещението, което се хигиенизира. Обратната връзка в този случай се базира на телеуправлението на робота и монтираната камера. На горната плоча роботът е оборудван с антибактериална UV лампа за отстраняване на различни патогени в

околната среда, която не е в контакт с четките на разработения модул. Регулируема гумена четка, която подобно на въртящите се четки се движи вертикално с помощта на линеен задвижващ механизъм, и втора UV лампа са монтирани към резервоара, в задната част на робота.



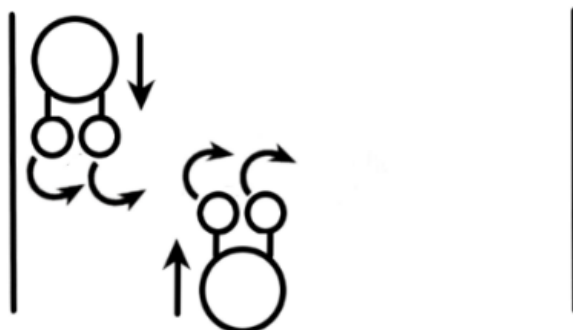
Фигура 19. 1- капак на четката, 2- почистващ диск, 3- дюза за препарат, 4- структура на повдигащи рамена, 5- електрически мотор, 6- линеен задвижващ механизъм

Гумената четка се използва за избутване на използвания препарат от почистваната с въртящи се четки повърхност. Допълнителната втора UV лампа е насочена директно към повърхността на пода, който роботът почиства, като се използва като последна технологична операция в процеса на саниране.

Системата с ротационни четки се състои от следните няколко компонента. Първият компонент е почистващият диск с диаметър 250 мм. Върху него се поставя капака на четката с диаметър 270 мм. От капака на четката се екструдира полукръг с височина 55 мм, който е обърнат към мобилния робот, за да предпази робота от замърсяване по време на работа на ротационната четка. В предния край на капака е проектирана дюза, през която при необходимост се изпуска препарата от резервоара. В центъра на капака са разположени електродвигателят и планките за закрепване на четките към повдигащите рамена. За електродвигател е избран 12V с редуктор на скоростта с мощност 150 об./мин. Повдигането и спускането на четката се осъществява с помощта на две повдигащи рамена, свързани с лост, образуващ кобилица, закрепена към линеен задвижващ механизъм. Актуаторът се фиксира с държач и се поставя между сензорите и батерията на първата платформа.

При почистване с четки посоката им на въртене се определя от това коя страна на робота е по-близо до стена на помещението. Почистването се извършва от близката към

далечната стена , т.е. четките избухват отпадъците настрани, след което роботът се движи в обратна посока и въртенето на четките се променя. Това продължава, докато стигне до другия край на стаята. Принципът е илюстриран на фигура 20.



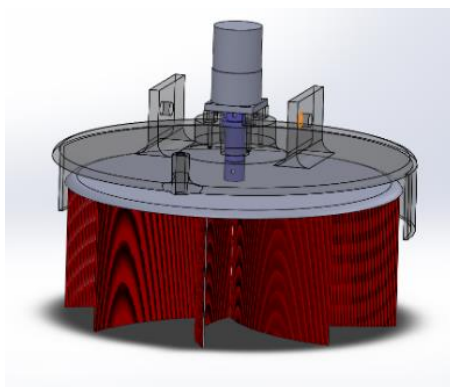
Фигура 20. Принцип на въртене на почистващите четки и движението на робота в стаята, подложена на почистваща процедура

По време на проектирането на модула четките са предназначени за използване за твърди повърхности. Движението на робота в помещенията на комплекса и изпълнението на технологичните операции на хигиенния модул се осъществяват както на базата на вътрешна навигация, така и на теле телеуправление.

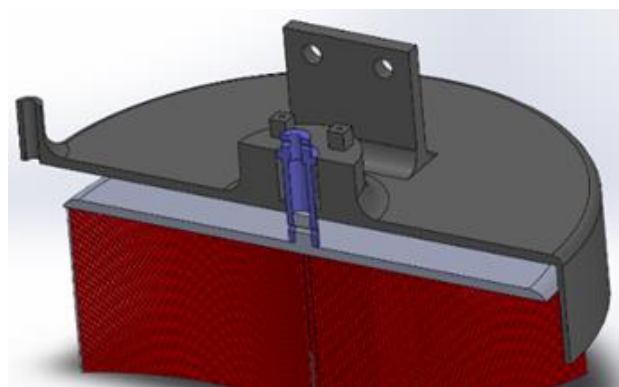
Втората система на хигиенния модул се състои от резервоар за препарат и помпа за резервоар, които се активират при необходимост . Избраната помпа за резервоар е 12V с максимален дебит от 5 l/min, която е монтирана на третата плоча. Резервоарът за препарат се поставя на долната плоча. Закрепва се към мобилния робот чрез 4 пластини с отвори, които влизат в прътите между първата и втората пластина.

Системата с ротационната четка се състои от следните няколко компонента. Първият компонент е дискът с почистващите пера. Дискът е с диаметър 250мм и 5мм дебелина на плочата, като общата височина е 105мм. В центъра на диска е екструдирана втулка с диаметър 9мм и височина 15, която се монтира към фланеца, предаващ въртеливото движение от електродвигателя, посредством два болта М3 минаващ напречно през сглобката (фиг. 22.). Свързващият четката с електродвигателя фланец е с дължина 55мм. Малкият диаметър е 15мм, а големият, който ляга върху лагер и го покрива като капак с диаметър 21мм. Часта която е върху лагера е с дебелина 4мм. За лагер е избран иглен лагер с вътрешен диаметър 15мм, външен 21мм и дебелина 22мм, който се поставя в проектирано за целта гнездо поместено в конструкцията на капака. Капакът на четката е с диаметър

270мм и дебелина 5мм. Екструдирана е полуокръжността от капака с дължина 55мм, която е с лице към мобилният робот, с цел предпазване на робота от замърсяване при работа на ротационната четка.

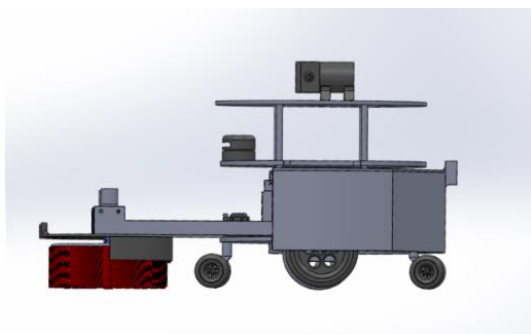


Фигура 21. Сглобка на ротационна четка

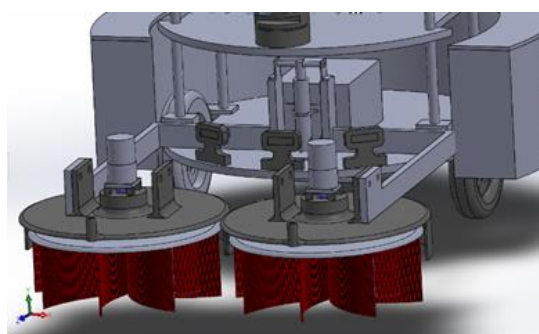


Фигура 22. Разрез на ротационната четка

В центъра на капака поместено цилиндрично тяло с външен и вътрешен диаметър съответно 60 и 21мм, и височина 26мм. Към горната повърхност на цилиндричното тяло са конструирани 4 гнезда с размери 8мм x 8мм x 9мм. В гнездата са поместени отвори с дължина 30мм за болтове М3, посредством които се монтира електродвигателя. За електродвигател [87] е избран 12V с редуктор с 150 об./мин. Захващането на ротационните четки към повдигащото рамо се осъществява чрез планки с размери 60мм x 65мм x 7,5мм, на отстой 115мм една от друга, в които са поместени отвори с диаметър 10мм. Спрямо това дали ротационната четка се захваща от лявата или дясна страна се ползва съответната скрепителна планка.



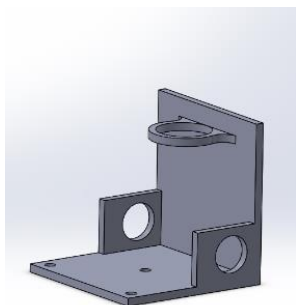
Фигура 23. Страничен изглед на робота със спусната ротационна четка



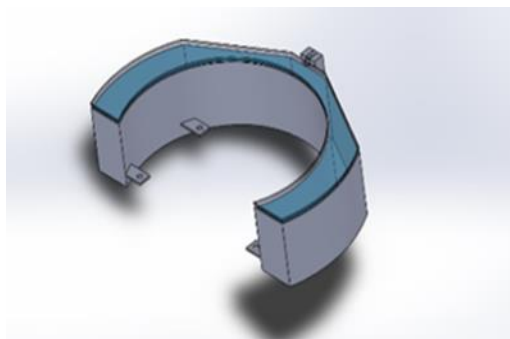
Фигура 24. Сглобка на модул с ротационни четки монтирани към повдигащия механизъм

Вдигането и спускането на четката се осъществява посредством две повдигащи рамена (фиг. 23.), свързани посредством лост образувайки кобилица, захванати към линейен актуатор. Актуаторът[88] е фиксиран посредством специално проектирана планка-държач (фиг.25), като е поместен между сензорите и батерията на първата платформа. Рамената са изградени от 30мм x 10мм x 1,5мм профили. Рамената са скрепени към линейни плъзгащи лагери, които са монтирани към предните два пръта (фиг.24). За да осъществи четката контакт с повърхността за почистване е необходимо буталото на линейният актуатор да достигне крайно долно положение. В тази позиция актуаторът е на 113,5 мм от плочата считано от отвора в буталото. При повдигане в крайно горно положение на буталото се задава 30мм ход. Така се осигурява достатъчно пространство, за да може роботът да се придвижва без да закачат перата на четката когато режимът за почистване не е активен.

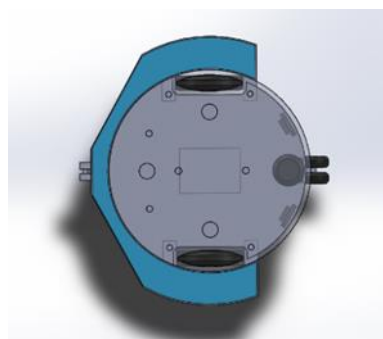
Към почистващата ротационна четка е добавена спомагателна система посредством помпа[89] и резервоар, която при необходимост да се включва (фиг.26а и фиг.26б).



Фигура 25. Държач за
линеен актуатор



Фигура 26а. Резервоар за вода,
монтиран към робот платформата



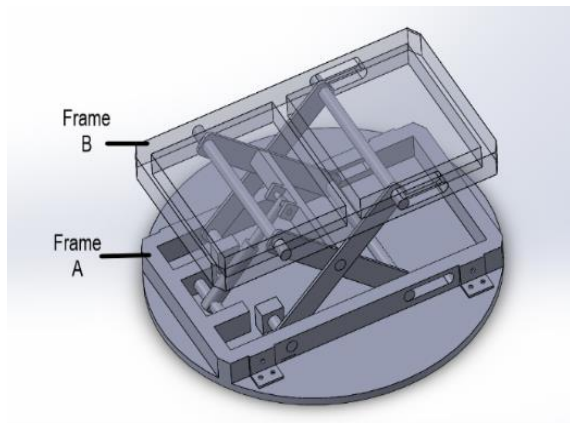
Фигура 26б. Резервоар за вода

За помпа е избрана 12V с максимален дебит от 5л/мин. Помпата се монтира на третата плоча посредством 4 М3 болта. Резервоарът за вода е с вътрешна страна коцентрична и равна на плочите на мобилният робот, като крайните точки описват окръжност с диаметър 600мм. Височината на резервоара е 170мм като на 30мм от основата са заварени 4 планки с отвори, които влизат в прътовете между първата и втора плочи и така го скрепят към цялата мобилна платформа. В задната си част резервоара има елемент, посредством който се закача капака на резервоара.

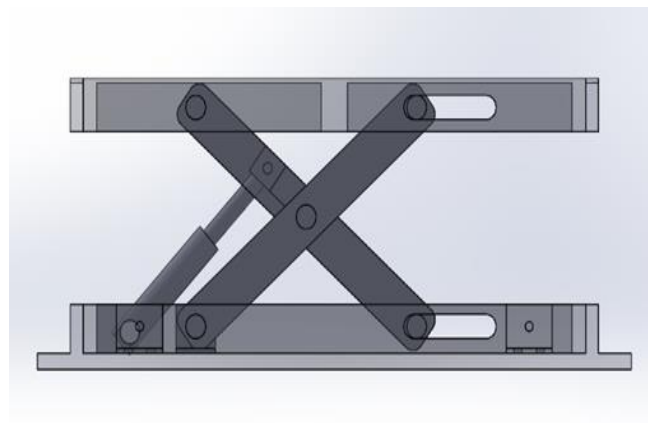
2.1.2.4 Модул с ножичест подежник

Ножичестият подежник е изграден от две рамкови конструкции/ frame structures/ - рама А и рама Б, с идентични външни размери и профили изграждащи ги, като към тях са фиксирани

другите компоненти на цялостната сглобка.



Фигура 27. Сглобка на ножичест
подемник



Фигура 28. Изглед на механизма с
компонентите на ножичестия подемник

Профилите ползвани за външните рамки са 20мм x30мм x2мм. Рамките са с размери 400мм x 240мм като ъглите им са скосени с цел рамата да бъде възможно най-близко по контура на плочата на робота. В сгънато положение ножичестия повдигач е на 60мм височина от платформата на робота, към която е монтиран, а в максимално повдигнато почти 172мм. Рама А се захваща към горната плоча на мобилния робот посредством 4 г-образни профила с размери 25x 35 x 3, като всеки от 4-те профила се захваща с по 3 болта М6.

Идентично и за двете рами в единия край на всяка от тях в профилите са фрезовани канали, в които се помещава лагерните тела и осите, за които са захванати съответните две плъзгащи рамена за повдигане на рама Б, а в другия край са разпробити отвори с диаметър 15мм. Дължината на фрезования канал е 70мм, в който е набит иглен лагер с външен и вътрешен диаметър съответно 21мм и 15мм. В другия край на рама А, вътрешно на конструкцията, е захванат линейния актуатор [90]. Буталото на актуатора е с диаметър 12мм и ход 100мм. Линейния актуатор е закрепен към два профила- 20мм x 30мм с дължина 50мм, като центъра на захващане е на 13мм от плочата на робота т.е. под централната ос на профилите, за да се гарантира по-голямо скосение при прибрано положение на ножиците. Към рама Б напречно по средата е заварен допълнителен профил, който да повиши здравината и якостта на конструкцията при повдигане на товари. В горната част върху рама Б е заварен листов материал със същата форма и дебелина на листа 3мм, на който да бъдат полагани различните продукти. Повдигащите рамена са с размери 235мм x 30мм x 4мм със закръгление на ръба R8. Във всяко от рамената са разпробити 3 отвора с диаметър 15мм- един централно и два

във всеки от краищата на разстояние 214.80 мм един от друг. Към две от рамената е заварен профил 20мм x 20мм, към който се закрепя буталото на линейния актуатор. Върху горната повърхност, контактуваща с повдиганите от робота изделия, са поставени сензори [91] за тежест, които да предпазват мобилния робот от претоварване

2.1.2.5 Модул с антропоморфен робот Нирьо

За целите на разработения обслужващ робот беше избран антропоморфният робот Niryo One [92] със следната спецификация: 6-осен робот с шест степени на свобода. Размерите на дължините на компонентите, съставляващи конструкцията, са както следва: основа - 103 мм, рамо - 80 мм, първа фуга - 210 мм, втора става - 180 мм.



Фигура 29. Антропоморфен робот Niryo One

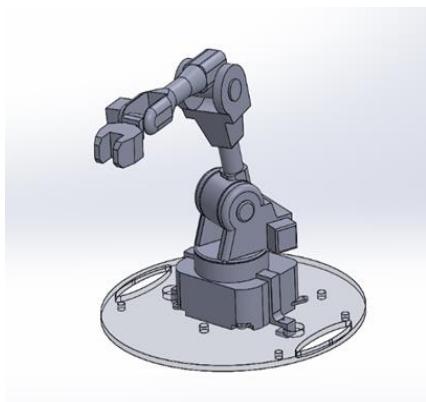


Фигура 30. Ставите на робота

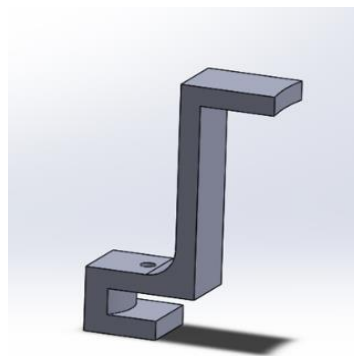
В задния панел на Niryo One са поместени множество различни физически интерфейси:

- Горен бутон;
- LED;
- 4 броя USB порт;
- GPIO панел (Общо 6 цифрови щифта);
- Съединител на захранващия адаптер.
- Изход за превключвател 12 V;
- Конектор Dynamixel XL-320;
- Конектор Dynamixel XL-430;
- Превключвател на захранването;
- CAN шинна връзка за Niryo Steppers;

Роботът тежи 3,3 кг. Възможният максимален обсег с монтиран хващач е до 440 мм. В долната част на Niryo One са поставени 4 вендузи и гумени крачета, през които е свързан към специфична работна повърхност. Максималният ъгъл на въртене за всяка от ставите е както следва: J1: -175 ° до 175 °, J2: -90 ° до 36.7 °, J3: -80 ° до 90 °, J4: -175 ° до 175 °, J5: от -100 ° до 110 °, J6: от -147.5 ° до 147.5. Местоположението на ставите е показано на фиг.30.



Фигура 31. Принципът на закрепване на Niryo One към горната платформа



Фигура 32. Държач за фиксиране Niryo One

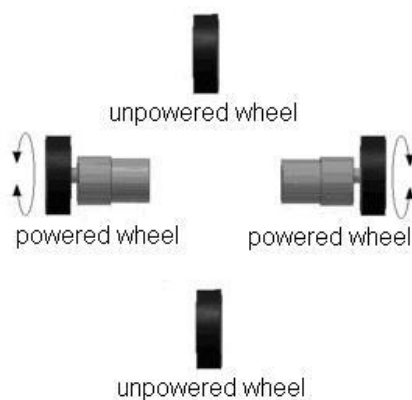
Държачът за закрепване и осигуряване на допълнителната стабилност, необходима за Niryo One е комбинация от U-образен профил, който влиза в отвор в горната плоча, и L-образен профил, чиято горна част е корадиялна и в контакт с основата при съединение J1, като по този начин роботът се фиксира в стабилно положение (фиг.32). Държачът се монтира към плочата чрез нейната U-образна част, която се затяга с M5, като се използва принципът на менгемето. Размерите на U-образната част са 23,5 мм x 25 мм /ширина x дължина/ и дебелина 7 мм. Г-образният профил е със следните размери: 71мм x 32мм x 22,5мм /височина x дължина x ширина/ и 7мм дебелина. Чрез проектирания държач в комбинация със смукателните вендузи и гумените крачета на антропоморфния робот се гарантира необходимата стабилност по време на работа.

2.2 Задвижване и изпълнителни механизми

В днешно време съществуват различни типове колела и мобилни роботизирани платформи според тяхното устройство, възможности и начин на функциониране. При мобилните роботи най-често използваните са диференциално задвижваните [40], използвани в сфери като учебната роботика, различни складови мобилни роботи за транспортиране, сортиране, роботите помощници и др. Друг много разпространен тип платформа, която се прилага предимно в мобилните роботи за транспорт и доставка е квадратичната с четири колела [29]. Комбинирани със специални колела като омни колелата [31] или меканим колела [63], този тип платформи могат да предложат много добра устойчивост и маневреност [44]. На голям изследователски интерес са подложени и ходещи/крачещи мобилни роботи, които имитират ходене на 4 крака или на 2 крака [41]. При избора и проектирането на мобилна платформа трябва да се съобрази нейното предназначение, терена върху който ще

се движи, вида на задвижването, както и изисквания за специфични функции (например маневреност, специфични движения), ако има такива. Други важни проблеми при мобилните платформи са свързани с решаване на математически описания [20], изчисляване на одомерията при движение, както и товароносимост.

Изпълнителните механизми са онези системи, които непосредствено осигуряват мобилността и широката функционалност на модулния робот. Функциите по задвижване както на целият робот, така и на отделни негови части/стави, ориентация на различни сензори за оптимизация на тяхната работа, преместване и задържане на определени обекти, осигуряване на въртливо или постъпателно движение на различни приставки, необходими за изпълнението на специфични функции, се осъществяват от крайни изпълнителни системи като електродвигатели, различни електромагнитни приставки, пиезоелектрични системи и др. Избраната мобилна роботизирана платформа е от типа с диференциално управление [49]. Този тип платформи имат два мотора, разположени от лявата и дясната страна, които задвижват независимо един от друг двете странични колела. За да се постигне стабилност на платформата използваме две помощни колела отпред и отзад. Това разположение на колелата позволява въртене на място, но при неравни повърхности може да се изгуби контакт между някое колело и земята.



Фигура 33. Движение на мобилната робо-платформа

- Движение на двете задвижвани колела напред - постига движение на робота напред.
- Движение на двете задвижвани колела назад - постига движение на робота назад.
- Движение е на едното колело напред, а другото назад - постига завъртане на робота в малък кръг, чийто център се намира между двете задвижвани колела.

- Движение на едно колело по-бавно от другото - постига завъртания на робота в посоката на по-бавното колело. Колко бързо се завърта зависи от това колко голяма е разликата между двете скорости

Управлението на диференциална мобилна платформа е сложно, понеже се изисква координация и сътрудничество между две отделно задвижвани колела [50].

2.3 Сензорна система

Сензорните системи са критично важна част от всеки проект за мобилен робот. Те спомагат за осъществяване на всички функции на взаимодействие с околната среда – следене на пространственото положение и ориентация на робота, поддържане на траектория, откриване на препятствия, безопасност на робота и хората, работещи с него. В зависимост от основната си функция сензорите, които са използвани в мобилните роботи, могат да се разделят на няколко категории.

- Тактилни сензори:

Тези сензори реагират при физическо съприкосновение с твърдо препятствие. Монтират в потенциални контактни зони на робота, обикновено при буферите за предпазване при сблъсък [48]. Обикновено се реализират с механични микропревключватели, реагиращи на натиск.

- Сензори за близост :

Реагират при приближаване до обект или препятствие. Могат да бъдат реализирани на базата на инфрачервени приемно-предаватели, ултразвукови ехолокатори или лазерни далекомири [68]. И в трите случая по параметрите на отразения сигнал може да се съди за близостта на обекта.

- Сензори за ускорение и ориентация

IMU са сензори, които комбинират акселерометри и жирокопи за измерване на линейното ускорение и ъгловата скорост на обекта. Чрез интегрирането на IMU могат да предоставят информация за ориентацията на обекта и промените в скоростта. Използването на такъв тип сензори допринася за плавното движение на мобилната платформа на робота, също и за тяхната прецизна работа по отношение на позициониране. IMU обикновено се използват в роботиката за мъртва сметка, техника, която оценява позицията на робота въз основа на началното му местоположение и последователните промени в скоростта. IMU обикновено се използват в роботиката за dead reckoning, техника, която оценява позицията на робота въз

основа на началното му местоположение и последователните промени в скоростта. Те често се интегрират с други сензори, като енкодери на колела и лидар, за да се подобри точността на навигацията. IMU са сравнително компактни и леки, което ги прави подходящи за мобилни роботи. Те осигуряват непрекъснати измервания, които могат да се използват за проследяване на движението в реално време. Трябва да се отбележи, че IMU страдат от кумулативни грешки с течение на времето, което може да доведе до отклонение в оценката на позицията. Това отклонение може да бъде коригирано чрез техники за сливане на сензори (sensor fusion), като например интегриране на IMU данни с други сензори като енкодери на колела или лидар.

- Лазерен скенер(LIDAR):

Lidar (Light Detection and Ranging) е технология, която използва лазер за измерване на разстояния и създаване на подробни карти на околната среда. Лидарните сензори излъчват лазерни импулси и измерват времето, необходимо на импулсите да се върнат след отскачане на обекти. Lidar се използва широко в автономната навигация за роботи и превозни средства. Той осигурява данни с висока разделителна способност в реално време за заобикалящата среда, което позволява откриване и картографиране на препятствия. Роботите, оборудвани с лидар, могат да създават подробни карти на своята среда и да ги използват с техниката за едновременно локализиране и картографиране (SLAM). Лидарните сензори предлагат висока прецизност и точност при измерване на разстояния до обекти, което ги прави ценни за избягване на препятствия и навигация в сложна среда. Те осигуряват 360-градусово покритие, което позволява на роботите да възприемат заобикалящата ги среда от всички ъгли. Лидарните сензори могат да бъдат сравнително скъпи, което може да бъде ограничаващ фактор за някои роботизирани приложения. Те са чувствителни към условията на околната среда като дъжд, мъгла и прах, които могат да повлияят на тяхната ефективност.

- Визуално базирани системи:

Системи, базирани на зрението, използват камери и техники за обработка на изображения, за да възприемат заобикалящата среда на работа. Те могат да се използват за задачи като откриване на обекти, разпознаване и навигация. Визуално базираните системи, се използват в широк спектър от роботизирани приложения, включително автономни дроне, мобилни роботи и дори хуманоидни роботи. Благодарение на начина на тяхното опериране те могат да бъдат имплементирани при роботи, чийто задачи, които изискват откриване и

разпознаване на обекти, като например вземане и поставяне на обекти в логистична или производствена среда, или при спасителни операции. Камерите са универсални сензори, които могат да предоставят богата визуална информация за околната среда. Системите с интегрирани камери позволяват на операторите на мобилни телеуправляеми роботи да взаимодействат много по-осведомено с заобикалящата робота среда на база на видео наблюдение. Важно е да се отбележи, че имплементирането на такива системи изисква значителна изчислителна мощ за обработка и анализ на изображения в реално време.

- Енкодери на колелата

Енкодерите на колелата са сензори, прикрепени към осите на колелата на робота. Те измерват въртенето на колелата и могат да се използват за оценка на позицията на робота и изминатото разстояние. Имплементирането на енкодерите в мобилни роботи, често се обвързва в комбинация заедно с други сензори, като IMU или lidar, за подобряване на точността на навигацията. Поради принципът си на работа енкодери са сравнително прости и рентабилни сензори. Те предоставят точна информация за движението на колелата, която може да се използва за локализация, базирана на одометрия. При приплъзване, особено на неравен или хлъзгав терен, може да се доведе до грешки в оценката на позицията. Това означава, че с течение на времето данните за енкодера на колелата могат да натрупват грешки, което налага периодично калибриране или корекция.

- Ултразвукови сензори

Ултразвуковите сензори използват звукови вълни за измерване на разстоянията до обектите. Те излъчват ултразвукови импулси и измерват времето, необходимо на звуковите вълни да се върнат обратно, след като ударят обект. Ултразвуковите сензори често се използват за откриване на препятствия от близко разстояние и избягване на сблъсъци във вътрешна и външна среда. Ултразвуковите сензори са достъпни и лесни за интегриране в роботизирани системи. Те са подходящи за откриване на обекти на къси до средни разстояния. Поради това освен в професионалните роботизирани системи е са често срещани в комплектите за роботика и образователните платформи за основни навигационни задачи. Ултразвуковите сензори имат ограничен обхват и точност в сравнение с лидарните или визуалните системи. Изборът на различните елементи на сензорната система е направен въз основа изискванията на средите, за които е предназначен робота. И тъй като тези среди са разнородни е разработен универсален вариант, с който да се удовлетворяват различните условия на работа.

2.4 Промислен дизайн на робота

2.4.1 Основни положения

Проектирането на индустриалния дизайн, съотнесен към многоцелеви телеуправляем сервизен робот, има за цел да разреши конкретни проблеми, свързани с визията на такъв тип работи като разглежда две основни задачи. Едната е дизайнът да бъде функционален и практически издържан. Втората е външният вид да бъде лесен за разбиране, докато изглежда естетически добре и се вписва в средата, в която оперира. Двете части-практическата и естетическата, придават завършен и цялостен външен вид. Дизайнът на робота трябва сам да подсказва за какво е предназначен и какви са неговите функции. В процеса на реализиране на дизайна на робота е следвана методика за последователно проектиране на продукта. Процесът на проектиране включва последователно изпълнение на следните дейности: изготвяне на концепция, изготвяне на чертеж със спецификациите на изделието, създаване на триизмерен модел, принтиране на изделието с помощта на 3D принтер. Дизайнът се стреми да постигне баланс във формообразуването между индустриален и органичен външен вид.

Дизайнът на многоцелеви сервизен робот би следвало да бъде максимално изчистен и неутрален, които да се вписва в работната среда на различни по вид съоръжения. Конструкцията изграждаща външния вид на робота е сегментирана на отделни панели при нейното проектиране и по-нататъшно производство. Спрямо конкретния сегмент изграждащ пластиката на дизайна са поместени конкретни акценти, които кореспондират с двигателните звена, сензорите и модулите на многоцелевия робот. Графичните линии, изобразени около отворите на ултразвуковите сензори служат като акцент за тяхното утилитарно поместване в дизайна. В задната част на конструкцията е позициониран отвор с капак, който предоставя достъп до буксата за зареждане на робота както и за изглед към дисплея показващ процента заряд на батерията. При реализацията на визията и конструкцията на многоцелевия робот формите на пластиката са реализирани по начин, който да гарантира максимална възможна защитеност на компонентите, поместени във вътрешността, от твърди и прахови частици, което да подсили правилното му функциониране. Сегментирането позволява лесен достъп до компонентите във вътрешността като улеснява значително поддръжката на робота.

2.4.2 Конструкция и материализация

Реализираният дизайн има за цел да предостави удобство при експлоатация и ремонтпригодност от операторите. Конструкцията на многоцелевия сервизен робот е съставена от три основни плочи, към които са монтирани задвижващи колела, управляващ компютър, сензори, дизайн панелите и др. Всеки от панелите е проектиран да се захваща лесно, бързо и надежно към другите панели и към конструкция на мобилната робот платформа.

При материализирането на дизайн панелите от 3D принтера трябва да бъде избран материал, който да има достатъчна гъвкавост заради естеството на предвидените операционни за работа среди. Материалите PETG и PLA са неподходящи за подобен вид конструкция, поради техните физически качества, които ги прави по-лесно чупливи за целите на проектираното изделие. С цел подsigуряване на работа в случай на външен удар за материал е избран ABS. Така изградените плоскости позволяват да бъдат подложени на стрес и деформация без да се счупят. Панелите са запълнени на 100% при 3D принтирането, за да се постигне максимална якост на изделието. Технологичните стъпки, които следват след 3D принтирането на изделието са:

- отстраняване на поддържащите допълнителни конструкции;
- подготовка на повърхностите за залепване;
- полагане и залепване на графичните елементи, които се ползват за акцентиране, по лицевите части на панелите.

2.4.3. Силует и четимост

Силуета на робота е необходимо да бъде изчистен и разбираем. Неговата основна функция е да предоставя на потребителя лесен за разпознаване силует. Визията трябва да бъде универсално приложима към различни експлоатационни среди. Дизайнът на многоцелеви теле-управляем сервизен робот е необходимо да предоставя всичката нужна информация и функционалност без да съдържа излишни елементи и зрително да затормозява. Графични линии, акцентиращи конкретната функционална зона са поместени в дизайна на робота като например такива, които очертават ултразвуковите сензорите

2.4.4. Решения и методи за управление на робота

Роботът се ориентира в пространството чрез камера, лазерен скенер и ултразвукови сензори. Дизайнът е така пригоден, че да позволява максимална свобода при движение.

Проектираните дизайн панели изпъкват са съобразени с начина на функциониране на отделните модули и електронни компоненти изграждащи многоцелевия робот. Посредством 3D принтер технологията се позволява на панелите да бъдат достатъчно леки, но и здрави. Дизайн конструкцията позволява имплементирането на отделните функционални модули към механичната конструкция като невъзпрепятстват надеждното и здраво захващане на отделните модули към реализираната мобилна робот платформа.

Изводи към ГЛАВА II

- С така проектираните универсална робот-платформа и модули се постига многоцелевия характер на робота
- Изпълнението на различните по естество задачи и функционалностите, които роботът предоставя, отговарят на необходимости и дават решения на проблеми на разнородните среди, в които роботът ще се интегрира.
- Тенденцията за модулност при сервизните работи позволява разработената универсална робот-платформа и модули да бъде внедрени в широк спектър сфери като предоставя лесно адаптируемо, гъвкаво и ценовоориентирано решение.

ГЛАВА III: УПРАВЛЕНИЕ НА МНОГОЦЕЛЕВИЯ СЕРВИЗЕН РОБОТ

3.1 Теле-управление на многофункционална мобилна роботизирана платформа чрез веб базиран графичен интерфейс, посредством MQTT и веб сокети

3.1.1 WebSocket

Web-Socket [64] е компютърна комуникационна технология, която позволява пълнодуплексни комуникационни канали през една TCP връзка, което позволява поток от данни в реално време между веб приложения и сървъри. Това е API стандарт, който е специално разработен за подобряване на комуникацията между веб приложенията. WebSocket работи на ниво 7 от модела OSI. За разлика от HTTP, WebSocket позволява непрекъсната двупосочна комуникация между клиента и сървъра, което го прави по-ефективен за предаване на данни в реално време. Заглавието Upgrade се използва от WebSocket handshake за превключване от протокола HTTP към протокола WebSocket, за да се осигури оперативна съвместимост. В сравнение с полудуплексните варианти като HTTP polling (анкетиране) протоколът WebSocket улеснява взаимодействието между веб браузъра (или друго клиентско приложение) и веб сървъра с по-малко режимни разходи, като позволява поток от данни в реално време от и към сървъра.

3.1.2 Ръкохватка на протокола

Връзките WebSocket се установяват чрез процес на ръкостискане между клиента и сървъра. Клиентът подава заявка за WebSocket handshake, а сървърът отговаря с отговор на WebSocket handshake, за да започне WebSocket връзка. Започвайки с HTTP заявка/отговор, handshake позволява на сървърите да управляват както HTTP, така и WebSocket връзки на един и същи порт. При установяване на връзката комуникацията преминава към двупосочен двоичен протокол, който не следва протокола HTTP. Сървърът отговаря с хеш на ключа в заглавието Sec-WebSocket-Accept, след като получи от клиента заглавие Sec-WebSocket-Key, което съдържа случайни байтове, кодирани по base64, с цел надграждане на заглавията. Това се прави, за да се избегне повторното изпращане на предишна WebSocket дискусия от кеширащо прокси. Фиксираният текст се хешира, като се използва алгоритъмът за хеширане SHA-1 и кодиране base64, а стойността от заглавието Sec-WebSocket-Key се допълва с UUID.

3.1.3 MQTT

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [13][54] е протокол за

публикуване/подписване на съобщения, който е разработен за комуникация между устройства в среди с ниска честотна лента и висока латентност. Протоколът е проектиран така, че да минимизира използването на широчината на честотната лента на мрежата и консумацията на енергия от устройствата, което го прави идеален протокол за устройствата от IoT. MQTT позволява на устройствата да комуникират асинхронно и по разпределен начин, което означава, че устройствата могат да изпращат и получават съобщения, без да имат директна връзка помежду си. Протоколът използва модела Publish-Subscribe, при който клиентите публикуват съобщения в теми, а други клиенти могат да се абонират за тези теми, за да получават съобщенията. MQTT е силно мащабируем и може да се използва за поддръжка на голям брой устройства, а сървърът може да обработва множество едновременни връзки. За преноса на данни MQTT предоставя три нива на качество на услугите (QoS), които определят нивото на сигурност при преноса на данни.

- QoS 0 - най-много веднъж.

Изпраща се еднократно, без да се чака отговор, същото осигуряване като TCP.

- QoS 1 - поне веднъж.

Гарантира поне една доставка, използва съобщение за потвърждение.

- QoS 2 - точно веднъж.

Осигурява получаване на съобщението само веднъж, използва се четирикомпонентно ръкостискане.

Criteria	MQTT	WebSocket
Use cases	Suitable for low-powered devices with limited CPU and memory, and unreliable, low-bandwidth networks	Suitable for web apps and devices unrestricted (or less restricted) by low bandwidth
Message distribution	One-to-many	One-to-one
Architecture	Publish/subscribe messaging pattern	Bidirectional, socket-like API
Messaging QoS	Three levels of quality of service: QoS 0, QoS 1, QoS 2	Raw WebSockets don't provide QoS options
Underlying protocol	TCP	TCP
Messaging mode	Asynchronous, event-based	Asynchronous, event-based
Message size	Maximum of 256 MB	2 ⁶³ bytes per frame
Secure connections	TLS	TLS
Message overhead	Minimum of 2 bytes	Minimum of 2 bytes for all messages except masked frames with a minimum of 6 bytes
Message queuing	MQTT brokers queue messages for all disconnected clients subscribed to a topic	Raw WebSocket doesn't support message queuing

Фигура 34. Сравнение на MQTT и WebSocket

3.1.4 Брокер на MQTT

Брокерът на MQTT е софтуер, който може да се стартира на компютър, локално или в облака. Той може да бъде създаден от самия потребител или предоставен от трета страна,

като например Mosquitto, EMQX и HiveMQ. Налични са както собственически версии, така и версии с отворен код. Брокерът действа като пощенска станция за съобщения. Вместо да използват директния адрес за връзка на получателя, клиентите на MQTT използват реда "Тема". Абонатите получават всички съобщения, публикувани към тази тема, в тяхната цялост. Един клиент може да се регистрира при няколко брокера, за да се абонира за различни теми, а няколко клиента могат да се абонират за една и съща тема от един брокер (възможности "много към едно" и "едно към много"). Клиентите могат както да публикуват, така и да се абонират за данни, което позволява на устройствата да публикуват данни от сензори, като същевременно могат да получават данни за конфигурация или команди за управление, което прави MQTT двупосочен протокол за комуникация. Клиентските устройства и сървърните приложения се отделят, като се използва архитектурата на брокер на MQTT. По този начин информацията за клиентите се пази в тайна един от друг. Софтуерът на брокера и клиентите могат да преминат незабавно към излишен/автоматичен резервен брокер в случай на повреда. Функцията, известна като "постоянни сесии", позволява на брокера да следи всички данни за сесиите, докато устройството е включено и изключено. Тогава брокерът ще следи информацията за връзката на всеки клиент, темите, за които всеки клиент се е абонирал, и всички съобщения за теми с QoS от 1 или 2.

3.1.5 Използване на MQTT през WebSockets

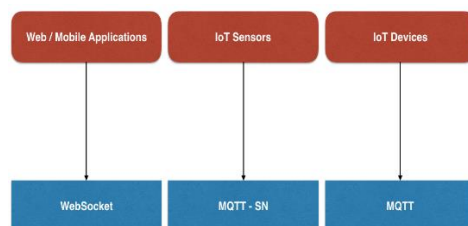
Ефикасността на MQTT се дължи на неговия комуникационен подход, който използва механизма publish/subscribe и работи ефективно дори в сценарии, при които мрежовата свързаност е нестабилна, а устройствата имат ограничени ресурси. Предаването на съобщенията MQTT се улеснява чрез капсулиране на WebSocket рамки, които след това се предават по мрежата. За реализацията на WebSockets, която използва MQTT, е от решаващо значение да се използва брокер на MQTT, който може да обработва местни WebSockets. Използването на WebSockets в транспортната методология на MQTT осигурява надеждна, подредена и двупосочна комуникация, което я прави идеален избор. WebSockets се използват за прехвърляне на цели MQTT съобщения, включващи както заглавия, така и полезен товар, само с два байта режимни. Тази характеристика, заедно с намалената широчина на честотната лента и латентност, прави WebSockets изгоден избор в сравнение с конвенционалните HTTP заявки, които изискват анкетиране на сървър. Тъй като свеждането до минимум на режимните разходи е критичен принцип на оперативната

философия на MQTT, прилагането на WebSockets съответства добре на тази цел. Заместването на родния клиент на MQTT с браузър, когато се използва MQTT през WebSockets, запазва възможностите на протокола, което го прави приложимо решение за автоматизирани системи. За да се осъществи този сценарий обаче, трябва да бъдат изпълнени две предпоставки. Първо, използваният брокер на MQTT трябва да поддържа MQTT през WebSockets, което може да ограничи избора на налични брокери. Второ, трябва да се използва JavaScript библиотека, която улеснява MQTT по WebSockets.

След като бъдат изпълнени необходимите условия, пълният набор от функционалности на MQTT може да бъде достъпен с помощта на браузъри като клиенти, което улеснява публикуването на съобщения и абонирането за теми. Тези функции включват стандартните WebSocket изтласквания, както и следното:

- Семантика на качеството на услугата (QoS), която гарантира доставката или пристигането на съобщението поне веднъж или точно веднъж, въз основа на определения параметър;
- Запазени съобщения, които се доставят незабавно при абониране на клиенти за определени теми;
- Постоянни абонаменти за сесии, които елиминират необходимостта от повторно абониране в случай на загуба на връзка;
- Завещание, което предава съобщение на други заинтересовани лица в отговор на внезапно прекъсване на връзката с клиенти.

Превръщането на конвенционалните браузъри в MQTT устройства значително подобрява практичността на основните системи, като позволява взаимодействие с промишлена автоматизация или IoT системи чрез браузъра на всяко мобилно устройство.



Фигура 35 MQTT през Web-socket връзки [17]

3.1.6 Реализация на MQTT през WebSocket в JavaScript

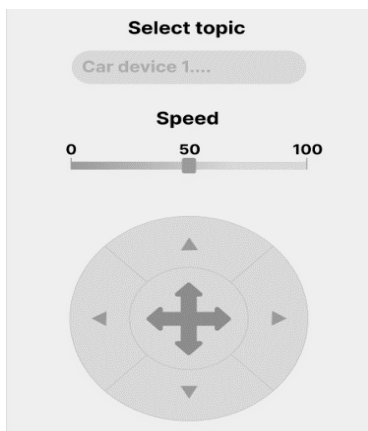
В тази разработка е представен интерфейс за управление на мобилен робот с 2 колела с

постояннотоков двигател с помощта на MQTT.js и WebSockets. [45][70] Интерфейсът включва текстово поле за избор на тема, плъзгач за управление на скоростта и четири бутона за управление на посоката. Темата, избрана от потребителя, е каналът, чрез който интерфейсът публикува стойностите за скоростта и движението.

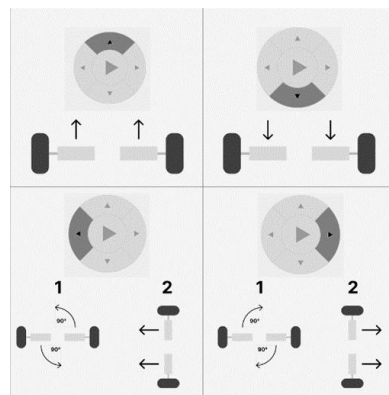


Фигура 36. Илюстрация на цялостния процес на комуникация между елементите

Скоростта на движение се задава чрез събитието "Промяна" на JavaScript, което взема стойността от полето на плъзгача и задейства POST заявка, насочена към маршрута "издател". Изпраща се JSON обект, който съдържа името на темата и съобщение, което е целочислена стойност, определяща скоростта. По същия начин посоката на движение се определя от един от четирите бутона, всеки от които е обозначен с различна стрелка, указваща желаната посока. Всеки бутон съдържа команда с шаблон за необходимото движение на двигателя в дадената посока. Когато се натисне един от бутоните, при събитието "MouseDown" се изпраща POST заявка към избраната тема. След като бутонът бъде освободен се задейства събитието "MouseUp", което изпраща команда за спиране на двигателите и в отговор устройството спира да се движи. Фигура 37 илюстрира създадения потребителски интерфейс за програмата. Интерфейсът позволява на потребителите да управляват скоростта и посоката на работа. Темата, избрана от потребителя, се използва за публикуване на стойностите за скоростта и движението. Роботът се абонира за а темата и получава стойностите, изпратени от интерфейса. Като протокол за изпращане на съобщения се използва MQTT, а WebSockets осигурява двупосочен канал за комуникация между интерфейса и робота.



Фигура 37. Разработеният потребителски интерфейс

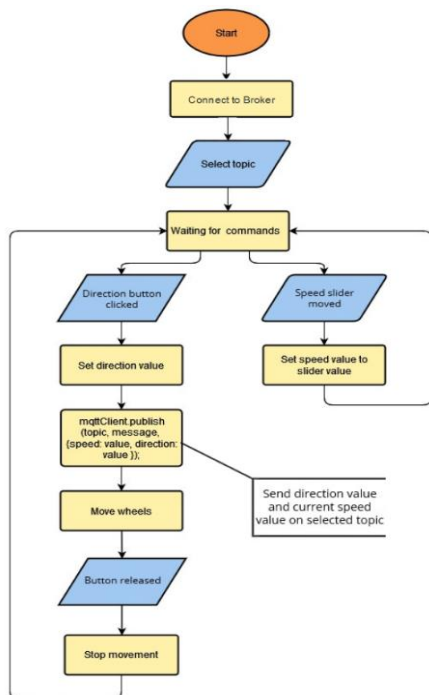


Фигура 38. Движение на колелата

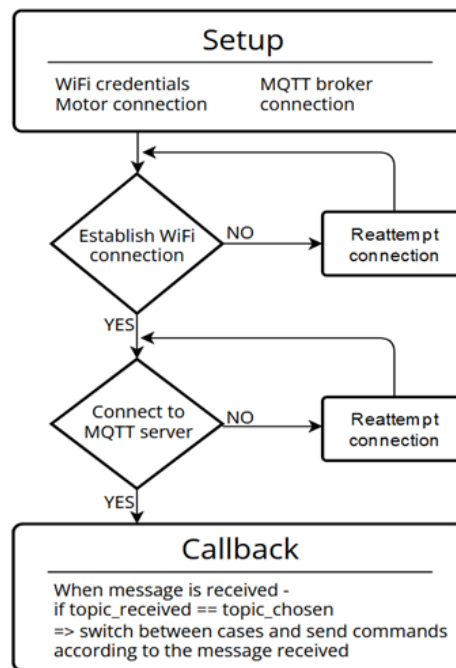
Фигура 38 илюстрира как колелата на двигателя се движат в зависимост от натиснатия бутон. Натискането на бутона "нагоре" кара двете колела да се въртят напред, в резултат на което роботът се движи напред. Натискането на бутона "надолу" кара двете колела да се въртят в обратна посока, в резултат на което роботът се движи назад. Натискането на бутона "наляво" кара дясното колело да се върти напред, докато лявото колело се върти назад, в резултат на което роботът завива наляво. И обратното, натискането на бутона "дясно" кара лявото колело да се върти напред, докато дясното се върти назад, в резултат на което роботът завива надясно [44].

Блок-схемата (фиг.39) илюстрира основните стъпки, свързани с управлението на мобилен робот чрез предоставения интерфейс, включително задаване на тема, регулиране на скоростта, управление на посоката на движение, публикуване на стойности и действие върху тези стойности за управление на колелата на робота.

Както е показано на фигура 40, след стартирането на робота контролерът автоматично установява връзка с MQTT брокера. След като се свърже, когато се получи съобщение за абонирана тема от брокера, се изпълнява определената функция Callback. В резултат на получените входни данни се изпраща команда, за да се изпълни движението на двигателя, както е необходимо. Действия като свързване с брокер, абониране за тема и публикуване на съобщения се записват и показват в конзола.



Фигура 39. Работен поток на процеса



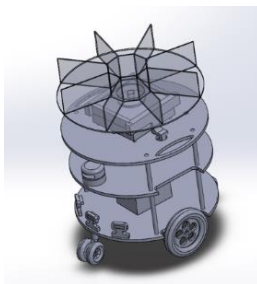
Фигура 40. Диаграма на фърмуера

На фигура 41 са показани дневниците за абониране за определена тема, натискане на бутона "Forward" (Предай напред) и пускането му след няколко секунди. Показва се и времето на действието.

Console:
 14:34:24: Connected with MQTT Broker: "ws://192.168.41.129:9001/mqtt"
 14:34:41: Subscribed to MQTT Topic: "home/car1"
 14:35:07: Published "FORWARD, 50" to MQTT Topic: "home/car1"
 14:35:07: MQTT Message Received. Message: "FORWARD, 50" MQTT Topic: "home/car1" QoS Value: "0"
 14:35:21: Published "STOP, 0" to MQTT Topic: "home/car1"
 14:35:21: MQTT Message Received. Message: "STOP, 0" MQTT Topic: "home/car1" QoS Value: "0"

Фигура 41. Регистър на конзолата

3.2 Управление на многоцелевия робот в режим за доставяне на лекарства



Фигура 42. Изглед на ротационният модул скрепен към мобилната робот-платформа

Ротационната маса е модул, който може да се монтира към мобилната робот-платформа с теле-управление (фиг. 42) и представлява важен компонент за дистрибуция на предмети като лекарства за различни пациенти съотнесени към дадената болнична стая.

3.2.1 Алгоритъм на работа на робота

Разработеният алгоритъм на работа на робота в режим доставяне на лекарства е представен нагледно на фигура 43 и включва следната стъпки:

- Инсталация и стартиране на модула:

След успешната инсталация на ротационната маса към мобилната робот-платформа и включването на захранването, програмата за управление на модула се стартира.

- Зареждане на предмети:

Операторът поставя лекарствата или другите предмети, които трябва да бъдат пренесени и разпределени, в отделните слотове на ротационната маса.

- Избор на режим:

Интерфейсът на програмата предоставя възможност за избор на различни режими на работа, в зависимост от целите на операцията. Например, операторът може да избере автоматичен режим за разпределение на предмети на базата на предварително зададени параметри или ръчен режим, където операторът има контрол върху процеса.

- Стартиране на работния цикъл:

След като операторът избере желанния режим, той стартира работния цикъл чрез натискане на съответния бутон в програмата.

- Ротация и разпределение:

Начинът на работа на ротационната маса е да се върти, докато избраните предмети в дадения слот достигнат пред робота. На база на енкодер се знае за позицията на дадения слот. Посредством интерфейсът се запазва в кой слот обектите за коя стая и кой пациент са предназначени.

- Подаване на предметите:

Роботът се придвижва към пациента или мястото, където трябва да бъдат предоставени предметите. Ротационната маса подава предметите. След като пациента вземе хапчетата си посредством камерата на теле-управляемия робот оператора валидира, че хапчетата са взети.

- Повторение на процеса:

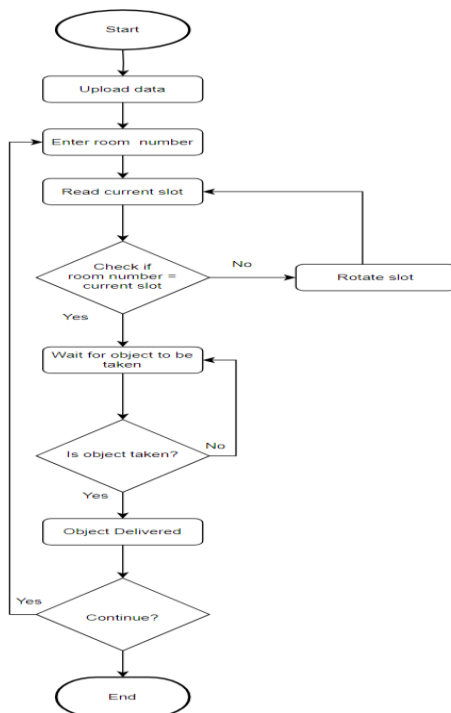
Ако има повече слотове за дадения пациент след предаване на предмета, ротационната маса продължава да се върти и подава следващия предмет, докато не бъдат разпределени всички предмети зачислени към дадената стая и пациент.

- Завършване на работния цикъл:

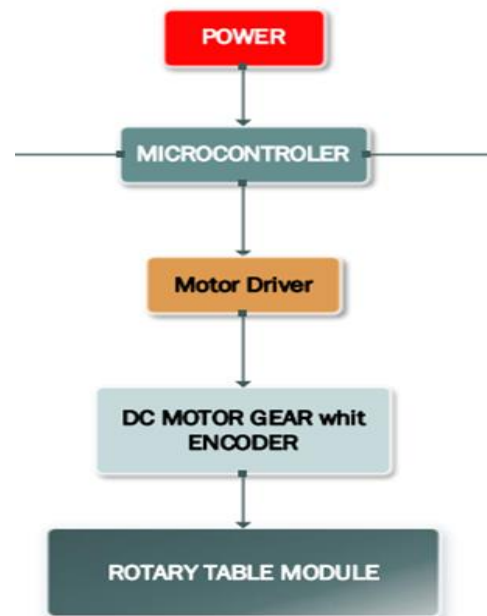
След като всички предмети бъдат успешно разпределени, програмата извежда съобщение за завършване на операцията. Операторът задава предвижването на робота към следващото място на база на полу-автономно теле-управление или директно го навигира посредством директно теле-управление

- Изключване на модула:

Операторът може да изключи модула след успешното приключване на работния цикъл.



Фигура 43. Блок схема за управлението на модула



Фигура 44. Схема на основните компоненти, изграждащи дистрибуторния модул

3.2.2. Симулация и резултати от верифицирането на модула и алгоритъма на работа

Симулационната постановка има за цел да верифицира управлението и поведението на модула. Симулацията е извършена на базата на няколко софтуера, посредством тяхното паралелно и синхронизирано изпълнение. В симулацията са обвързани следните софтуери:

- SolidWorks-CAD: Софтуер, използван за конструиране на робот-платформата и модула

- Proteus 8.16: Софтуер за електронно проектиране и автоматизация (EDA/ ECAD). Proteus позволява създаване на схеми, проектиране на печатни платки и др. Използван е в настоящата симулация, тъй като предоставя мощна функционалност при симулиране на микроконтролери посредством прилагане на hex файлове към вече изградени схеми.
- Arduino IDE: Среда, използвана за написването на кода, онагледяващ алгоритъма
- NHD Software's Virtual Serial Port Tools: Представява цялостен набор от софтуерни инструменти, предназначени за управление и емуляция на виртуални серийни портове. Посредством инструментите за виртуален сериен порт може да се създават виртуални серийни устройства и връзки, които напълно подражават на функционалността на хардуерните физически устройства.
- Blender 3D- Софтуер за 3D моделиране, който позволява писане на скриптове посредством Python API. Предоставя възможността за комуникиране с Proteus.

Първа стъпка е създаване на кода в Arduino IDE. За да може да се осъществи симулацията в кода се въвежда BlendixSerial.h библиотеката, която позволява комуникацията между симулацията на хардуера в Proteus с 3D средата на Blender 3D, в която е поставен конструирания робот.

```
#include <BlendixSerial.h>
#include <Servo.h>

BlendixSerial blendix;
Servo myservo; // create servo object to control a servo
int timeOn = 50;
int timeOff = 50;
String servoPrompt = "Enter sequence of servo degrees (1-8): ";
bool autonomousMode = false;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  myservo.attach(10);
}

void loop() {
  Serial.println("Enter 1 for Autonomous mode or 0 for Manual mode: ");
  while (Serial.available() == 0) {}
}

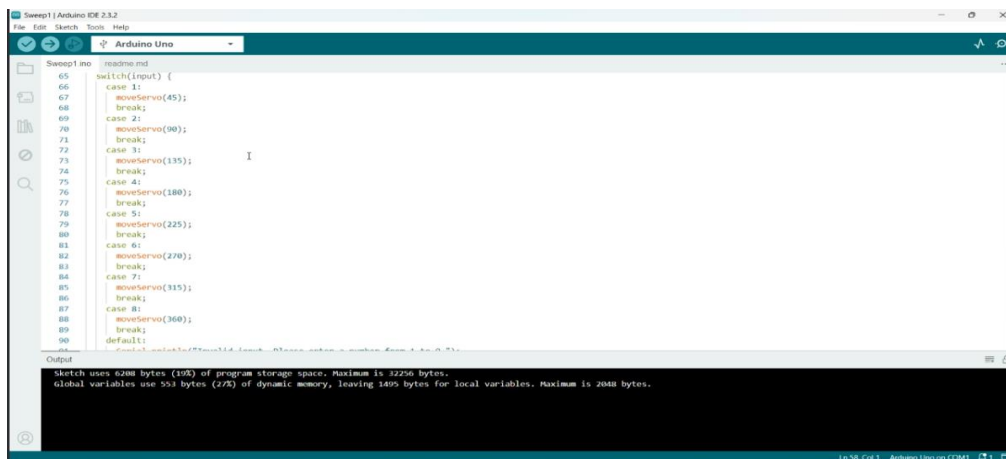
int modeInput = Serial.parseInt();

if (modeInput == 1) {
  autonomousMode = true;
  autonomousloop();
} else if (modeInput == 0) {
```

Фигура 45: Въведената BlendixSerial.h библиотека в създадения в Arduino IDE код

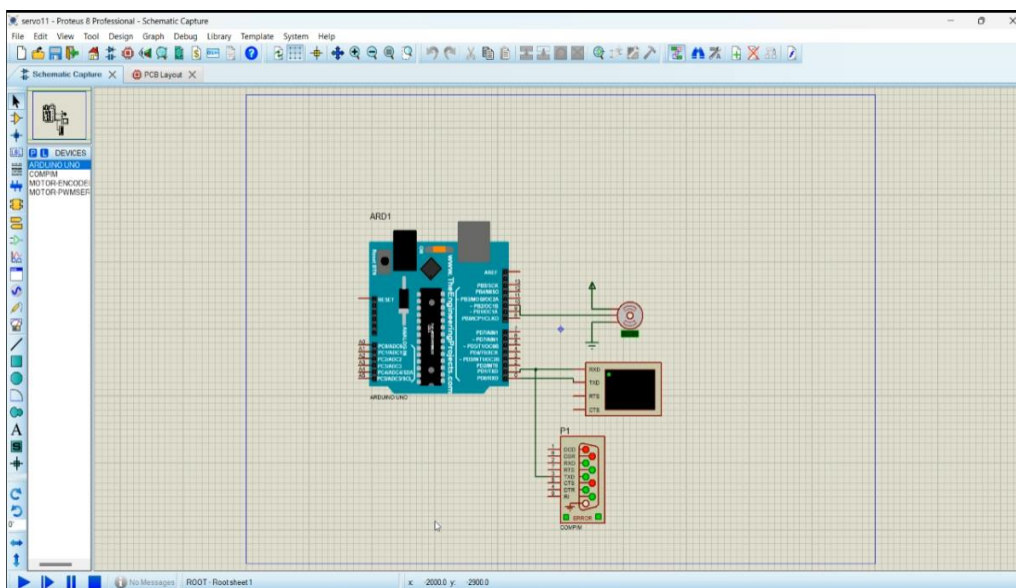
За ръчен режим във виртуалния терминал на Proteus се въвежда 0, а за автономен режим при дистрибуция се въвежда 1.

Всеки от слотове, които се зареждат от оператора при дистрибуция на лекарства отговаря на конкретен ъгъл на база на броя на слотовете, които са на ротационния диск. Фигура 46 онагледява стойността на ъгъла, кореспондиращ с конкретния слот.



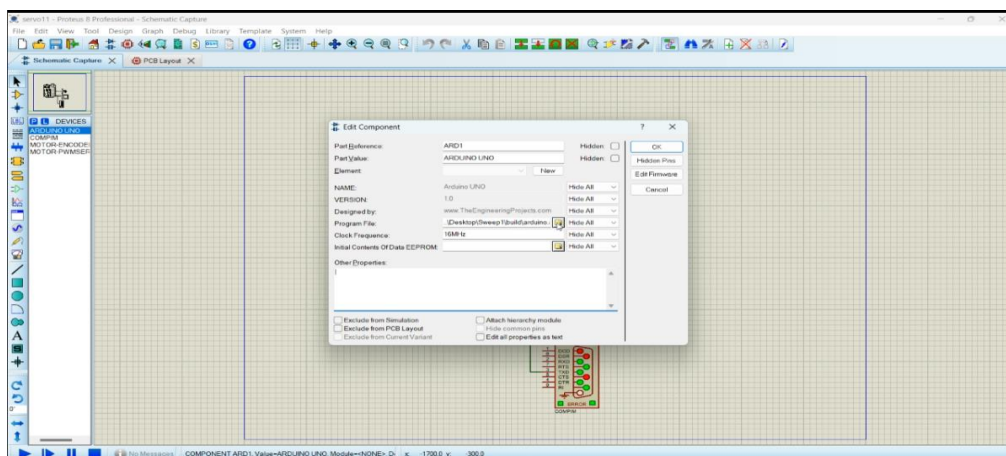
Фигура 46: Стойности на ъгъла на слотовете

Втора стъпка след създаването на програмата в средата на Arduino IDE е изграждането на хардуерната система и нейното окабеляване в средата на Proteus. За тази цел се използват библиотеките на Proteus, в които има готови компоненти - мотори, сензори, контролери и т.н. На фигура 47 е показана създадената хардуерна схема, свързваща компонентите, изграждащи модула както и виртуален терминал за въвеждане и визуализиране на данните.



Фигура 47: Хардуерна схема на модула за дистрибуция на лекарства

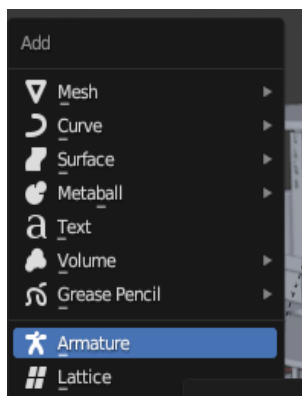
След като всички компоненти са свързани правилно и хардуерната система, изграждаща модула е готова следващата стъпка е да се зареди програмата написана в Arduino IDE в средата на Proteus, където извършваме симулацията. Зареждането на програмата става като в средата на Proteus върху микроконтролера се натисне с десен бутон. В резултат излиза менюто Edit Component, през което зареждаме ардуино файла.



Фигура 48: Зареждане на програмата написана в Arduino IDE в средата на Proteus

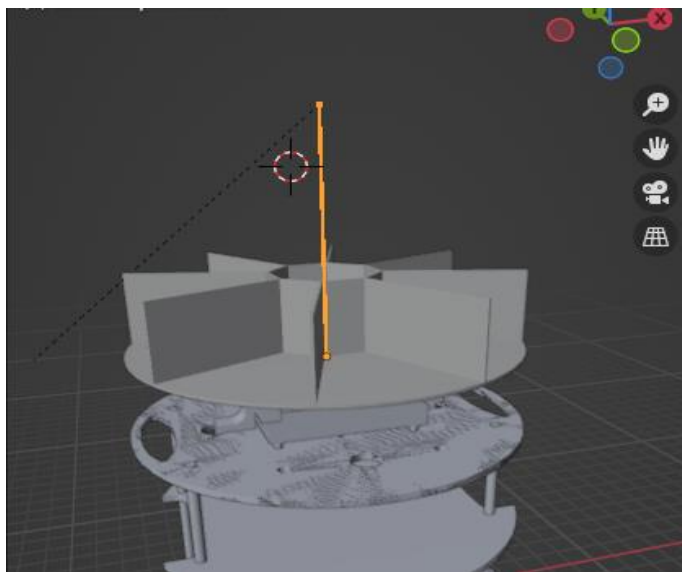
Следваща стъпка е отварянето на 3D модела на робота в 3D средата на Blender. За да може да се движи модела по определения желан от нас начин конструирания части в Solidworks трябва да бъдат експортирани отделно и асемблирани на ново в средата на Blender 3D където се задават необходимите ограничения към 3D обектите и се ригват обектите, които ще бъдат управлявани от програмата и ще се движат по определения начин.

Стъпките на ригване, за да може модела да се движи по определена траектория на база на управляващата програма, която е имплементирана в симулацията Proteus са следните:



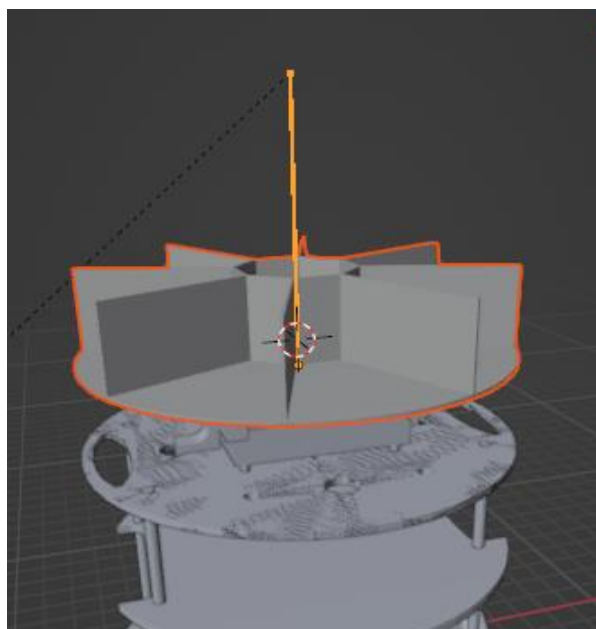
Фигура 49 Меню за създаване на скелетна структура („арматура“)

В обектен режим се създава „арматура“ (скелетна структура, която управлява даден 3D обект).



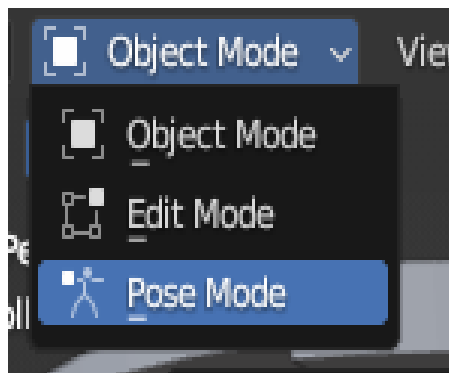
Фигура 50 Генерираната арматура за управление на 3D обекта

След като се създаде арматурата, тя се премества на мястото, на което искаме да се осъществи движението и се поставя към цялостната конструкция на модела, който желаем да бъде ригнат. – Фигура 50 и фигура 51



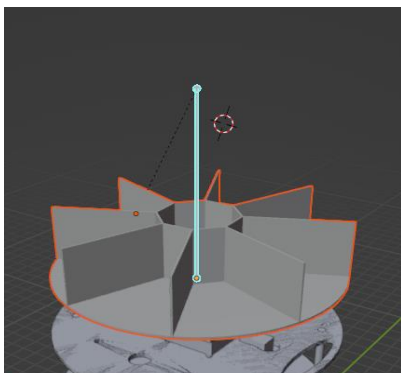
Фигура 51 Позициониране на арматурата в 3D обекта

В обектен режим, след като се избере желания модел, арматурата се превключва в режим на поза (фигура 52). Следва избор на кост, която да бъде ригната, т.е. скрепена към модела (фигура53). И накрая се натиска ctrl + p и се избира "кост"(фигура54)



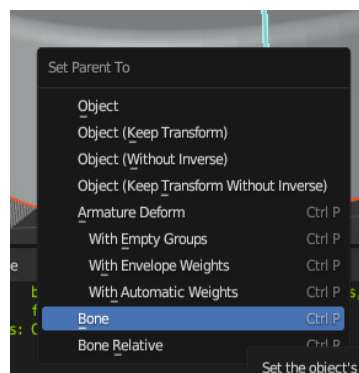
Фигура 52

Избора на меню поза



Фигура 53

Избор на кост, която да бъде ригната

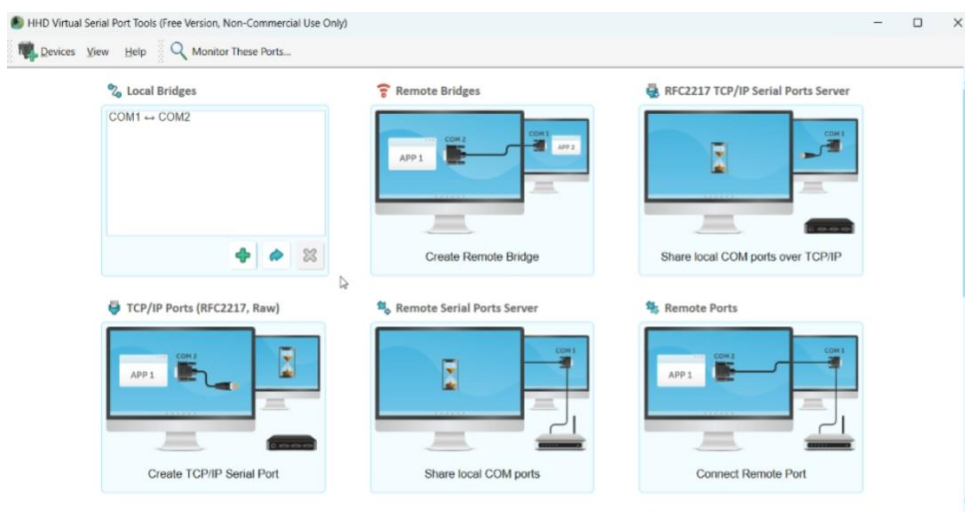


Фигура 54

Меню за избор на „кост“

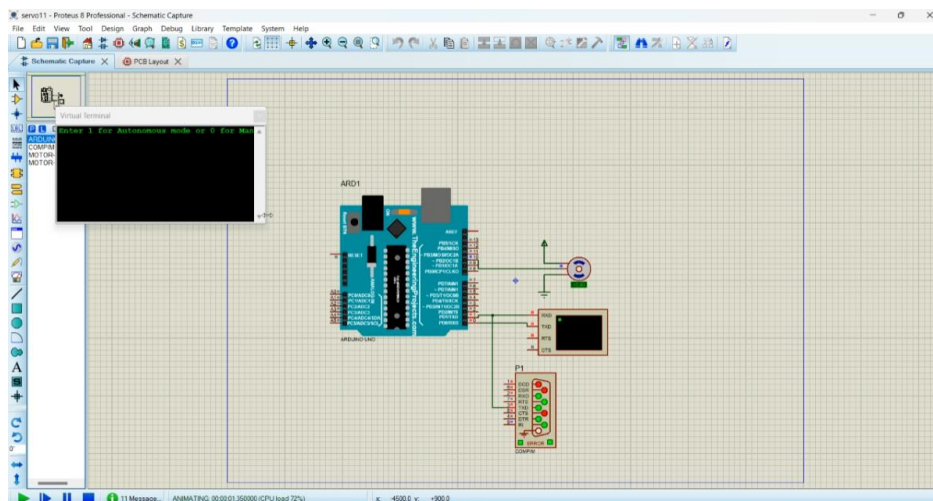
След ригването на модела добавяме приложението към Blender BlendixSerial. Библиотеката BlendixSerial е проектирана да работи заедно с добавката blendixserial в Blender. То позволява контролиране на обекти в Blender чрез серийна комуникация с Arduino или други микроконтролери.

Чрез емулирането на COM портовете от HHD Software's Virtual Serial Port Tools заедно с BlendixSerial започва осъществяването на връзката между симулацията в Proteus и 3D конструирания робот с прикачен модул в Blender



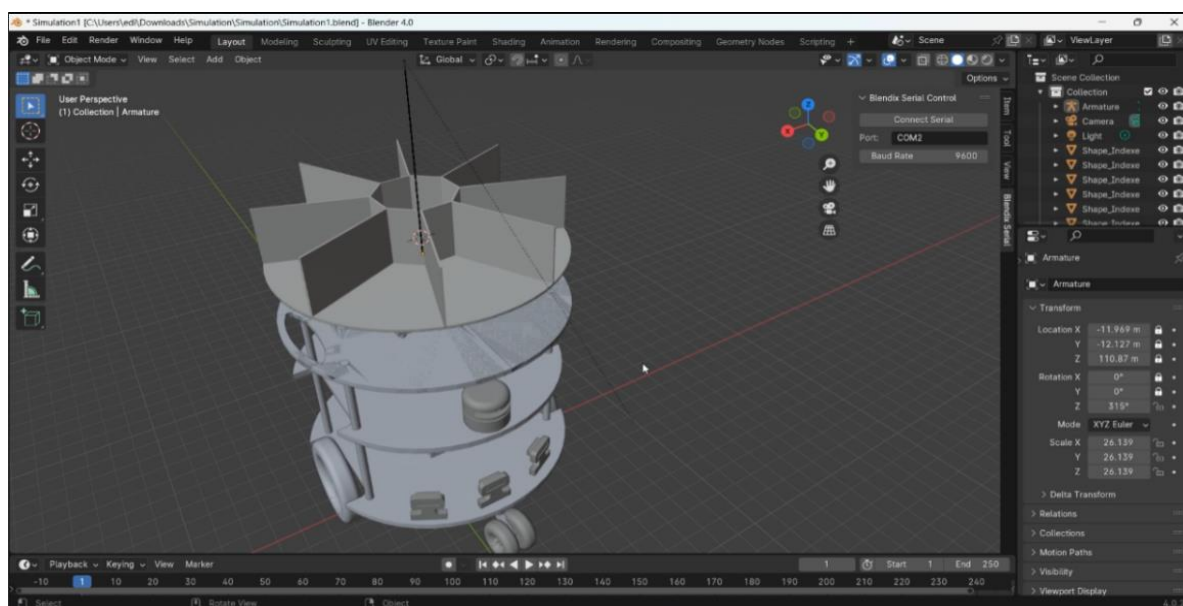
Фигура 55 : Емулирането на COM портовете

Стартираме симулацията в Proteus. (фигура 56). Посредством виртуалният терминал се визуализира стартираната програма, която е написана в Arduino и имплементирана в Proteus чрез генерирания хекс файл. Терминалът изчаква да въведем 0 или 1 за ръчен или автономен режим на дистрибуция.

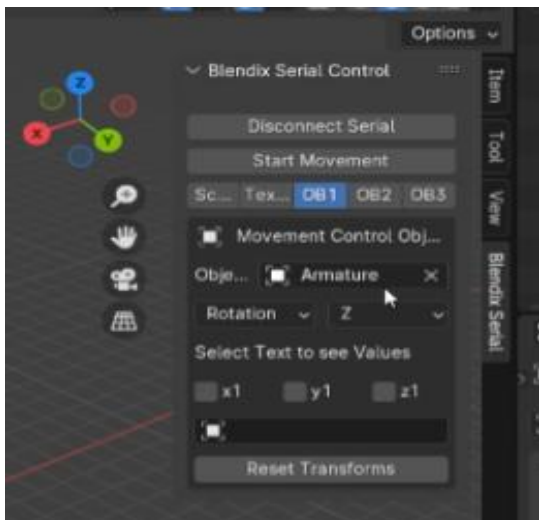


Фигура 56 Стартиране на симулацията

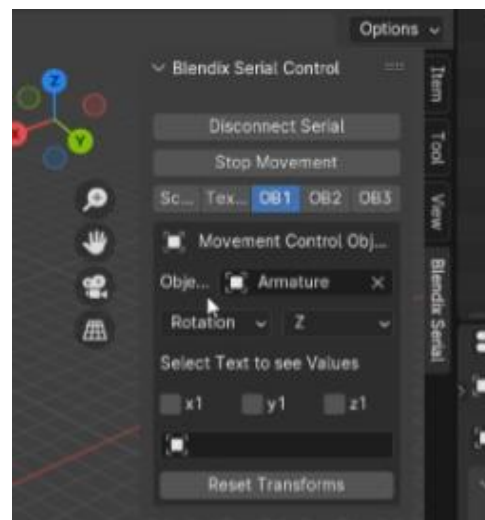
За да се визуализират промените в 3D модела на конструирания робот в падащото меню на BlendixSerial задължително трябва да сме натиснали Connect Serial и Start Movement, както и да сме посочили емулацияния порт, което е онагледено на фигури 57, 58 и 59.



Фигура 57: Избор на COM порт в Blender

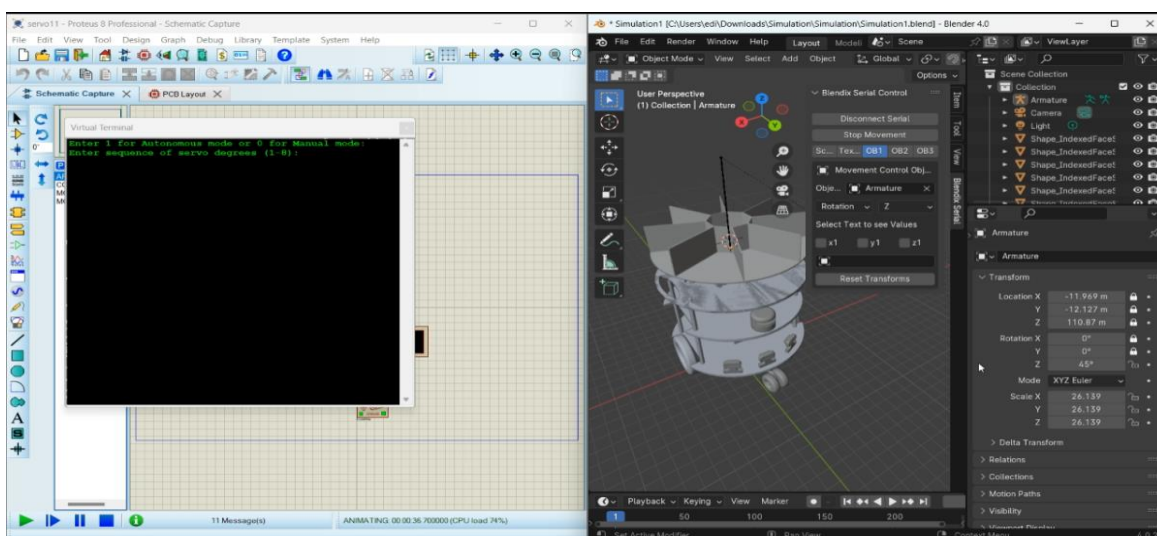


Фигура 58:
BlendixSerial преди стартиране



Фигура 59:
BlendixSerial след стартиране

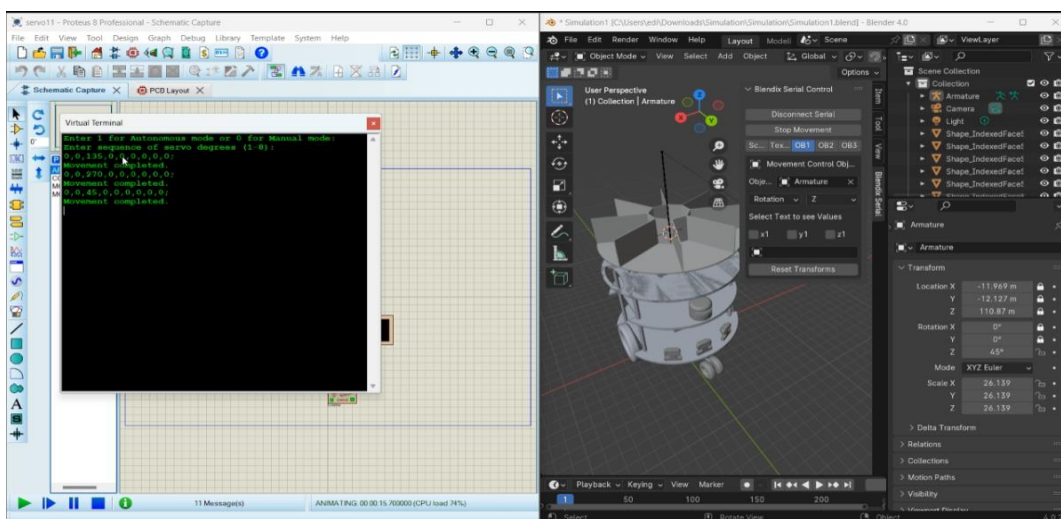
След като въведем 1 и стартираме автономното разпределяне програмата изчаква въвеждането на последователността от слотове със заредени в тях лекарства, които са за пациента, към който оператора изпраща работата. / онагледено на фигурата 60/.



Фигура 60 Синхронизираните среди на Proteus и Blender

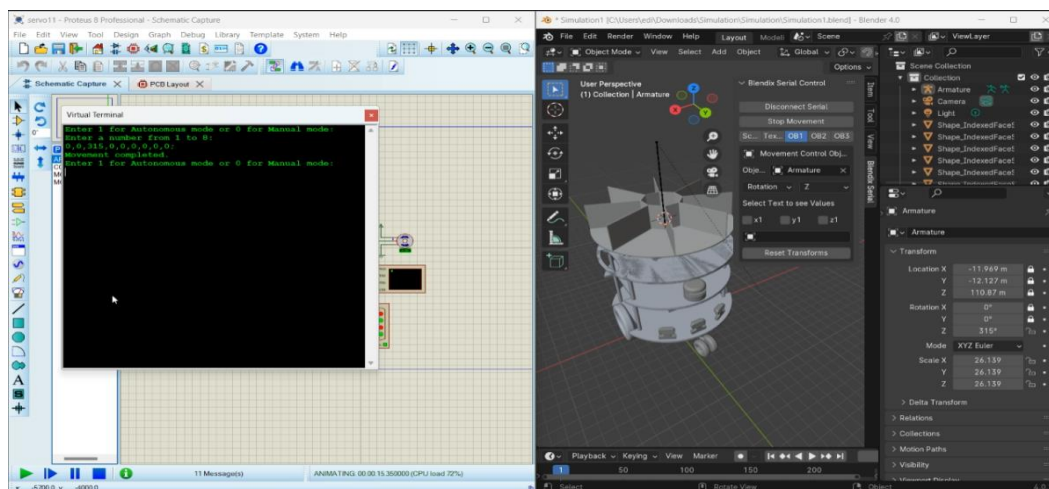
На фигурата 61 е показан автономният режим на дистрибуция за 3 слота. След като сме въвели номера на слотовете, в които сме сложили лекарствата, програмата ги изпълнява последователно. На виртуалния терминал е показано последователното изпълнение на 3ти , 6ти и 1ви слот като след всяко завъртане до съответния слот терминала изписва, че движението е успешно/ завършено. 45 градуса отговаря на първи слот и може да бъде видян

както на терминала от лявата част на скрийншота така и отляната страна в 3D средата на блендър в отключената по z ротация на обекта.



Фигура 61: Автономен режим на дистрибуция за 3 слота

В ръчен режим (които се активира при въвеждане на 0 в терминала) е въведен слота, който искаме да завъртим в предната страна на робота, за да може пациента да има достъп до него. На изображението фиг. е въведен слот 7, който отговаря на 315 градуса, които са визуализирани във виртуалния терминал и в менюто, отговарящо за ротация на дистрибуторната маса в 3D средата на блендър. След като движението е успешно завършено терминалът очаква следващото въвеждане за режим и след това за номер на слота.



Фигура 62: Ръчен режим дистрибуция

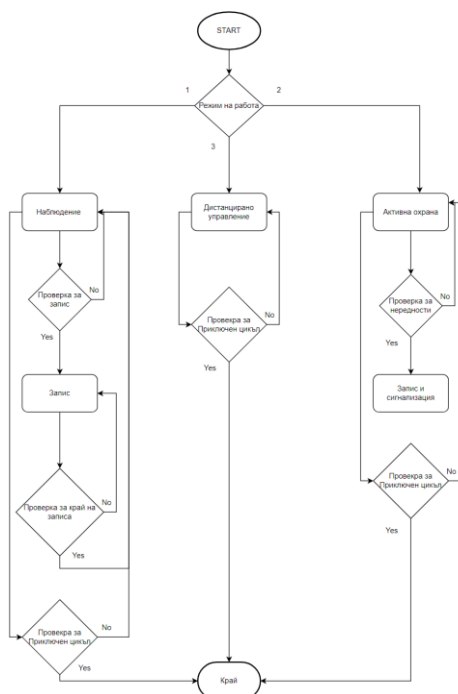
3.3 Управление на многоцелевия робот в режим на обход, наблюдение, охрана и сигнализация

Модулът за наблюдение и охрана е важен компонент на мобилната робот-платформа с теле-управление, който предоставя възможности на операторът да избира между режим на наблюдение, режим на запис на видео или снимки, и режим на активна охрана.

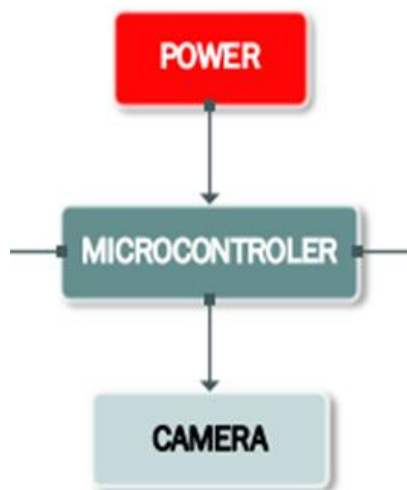


Фигура 63. Мобилна робот-платформа с монтиран модул за наблюдение и охрана

Разработеният алгоритъм на работа на робота в режим на обход, наблюдение, охрана и сигнализация е представен нагледно на фигура 64, а на фигура 65 са представени основните компоненти, които изграждат модула.



Фигура 64. Блок схема за управлението на модула



Фигура 65. Схема на основните компоненти изграждащи модула за наблюдение

Алгоритъмът на работа включва следната стъпки:

- **Инсталация и стартиране на модула:**

Модулът за наблюдение и охрана съдържа вградена камера, която е монтирана на най-горната плоча на мобилната робот платформа. След успешната инсталация на модула и включването на захранването, програмата за управление на модула се стартира.

- **Избор на режим:**

Интерфейсът на програмата предоставя възможност за избор на различни режими на работа. Операторът може да избере между режим на наблюдение, режим на запис на видео или снимки, и режим на активна охрана.

- **Стартиране на работния цикъл:**

След като операторът избере желанния режим, той стартира работния цикъл чрез натискане на съответния бутон в програмата.

- **Наблюдение и запис:**

Камерата на модула за наблюдение и охрана започва да излъчва видео сигнал, който може да бъде наблюдаван в реално време от оператора. В режим на запис, програмата може да започне запис на видео или снимки, които се запазват за бъдеща употреба.

- **Дистанцирано управление:**

Операторът може да управлява наклона и завъртането на камерата чрез интерфейса на програмата. Това позволява на оператора да насочи камерата към конкретни обекти или области.

- **Активна охрана:**

В режим на активна охрана, роботът може да използва допълнителни сензори или алгоритми за детекция на движение или неправомерни дейности в зоната на наблюдение. При засичане на неправомерни дейности, модулът може да предостави предупреждение на оператора и да започне запис на инцидента.

- **Завършване на работния цикъл:**

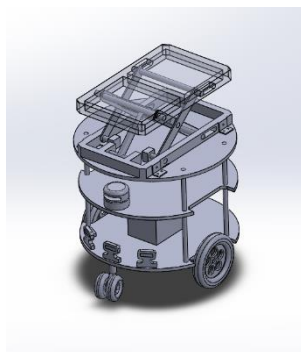
След като операторът приключи с наблюдението или записа се извежда съобщение за завършване на операцията.

- **Изключване на модула:**

Операторът може да изключи модула след успешното приключване на работния цикъл. Този модул предоставя възможности за наблюдение и охрана на различни места и ситуации, като предоставя реално време на оператора или записва важни данни за бъдеща употреба.

3.4 Управление на многоцелевия робот в режим за транспортиране и издигане на товари чрез ножичест подежник

Общият вид на робота в режим за транспортиране и издигане посредством ножичест подежник е показан на фигура 66.

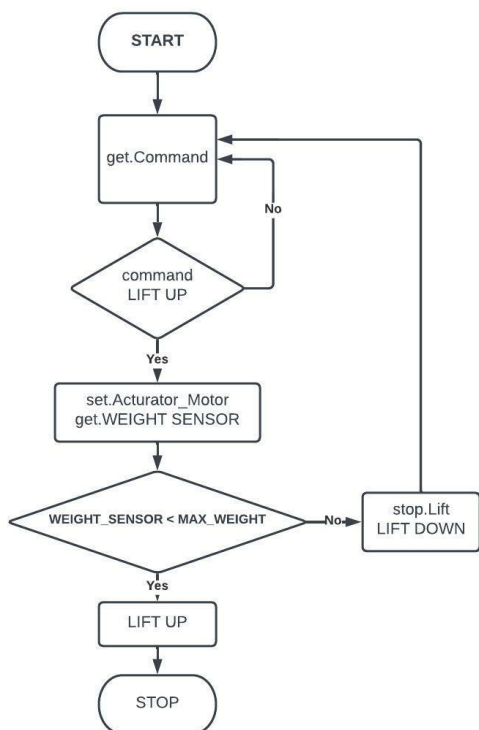


Фигура 66. Общ вид на робота с монтиран към него модул с ножичест подежник

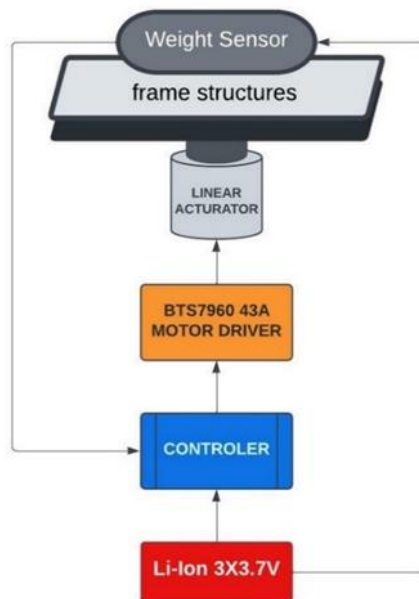
3.4.1 Алгоритъм на работа на робота

Разработеният алгоритъм на работа е представен на фигура 67 и включва следните стъпки:

- Започва се с инсталация и стартиране на модула. След като операторът приведе платформата в работен режим и включи захранването, програмата се стартира и контролерът подава сигнал към драйвера на линейния мотор (актуатора).
- Ако повдигащата платформа не е на стартовата си позиция линейния двигател започва да сваля рамената, върху които е прикрепена повдигащата платформа. След извършване на тази процедура платформата се намира в режим „очакване“, до подаване на команда от оператора. Тази процедура се налага да се извърши и в случай, че платформата е прекъснала работата си аварийно и повдигащата платформа е останала в работно положение.
- Когато роботът получи команда „повдигни товара“, контролера подава сигнал към драйвера на линейния мотор. Моторът започва да повдига рамената, върху които е монтирана повдигащата платформа, докато датчика за тежест не докосне товара. Той отчита тежестта на товара и ако той надвишава нормата, програмата отчита грешка „Внимание, привишено тегло!“ Тогава механизмът връща повдигащата платформа в режим „очакване“.
- Когато програмата получи команда „повдигни товара“ и датчика за тежест отчете тежест в нормата, механизмът повдига товара до заданената височина и роботът може да пристъпи към транспортиране на товара.



Фигура 67. Блок схема за управлението на модула



Фигура 68. Схема на основните компоненти изграждащи повдигащия модул

На фигура 68 е представена хардуерната система на повдигащия робот. Повдигащият модул се захранва от Li-ion акумулаторен блок, състоящ се от 3 последователно свързани клетки с напрежение 3,7V и максимален ток 5A.

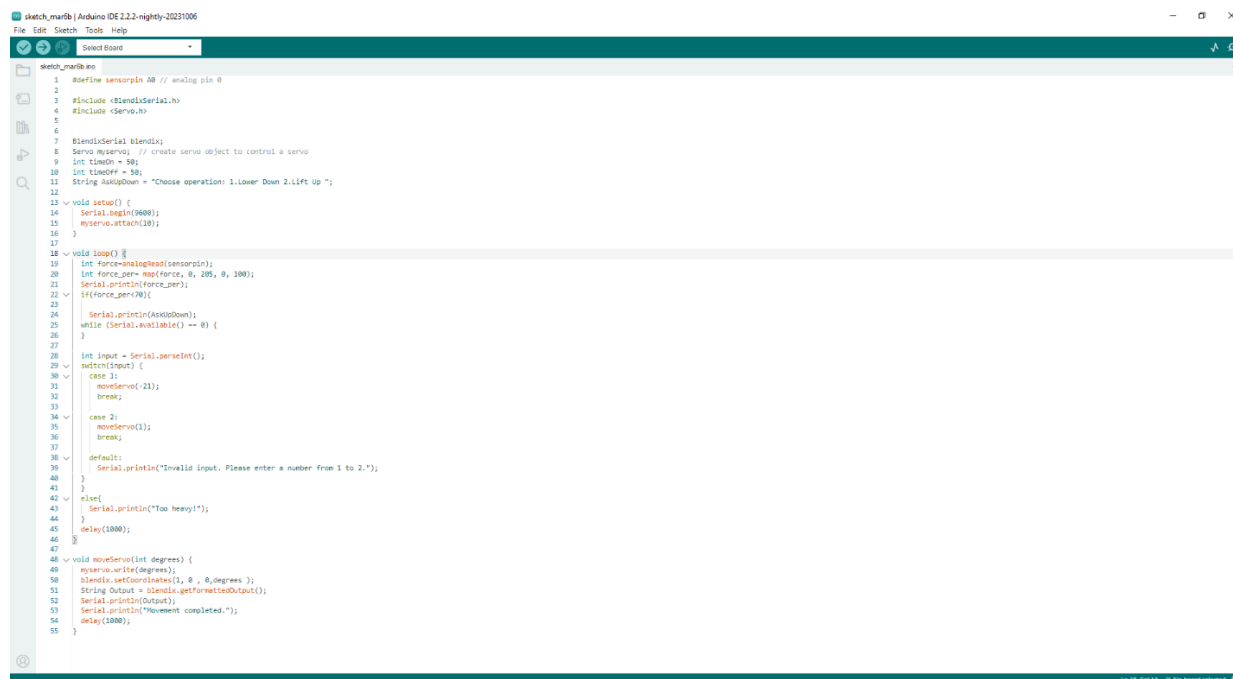
3.4.2. Симулация и резултати от верифицирането на модула и алгоритъма на работа

Чрез симулационната постановка се верифицира управлението и поведението на модула. Симулацията е извършена на базата на няколко софтуера, посредством тяхното паралелно и синхронизирано изпълнение. В симулацията са обвързани следните софтуери:

- SolidWorks-CAD
- Proteus 8.16
- Arduino IDE
- HHD Software's Virtual Serial Port Tools
- Blender 3D.

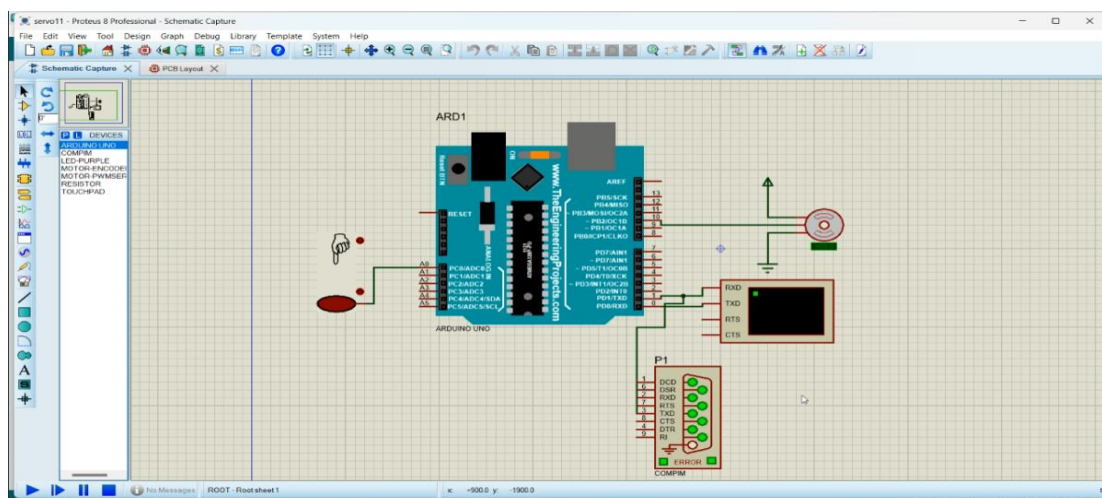
Първа стъпка е създаване на кода в Arduino IDE. За да може да се осъществи симулацията в кода се въвежда BlendixSerial.h библиотеката, която позволява комуникацията между

симулацията на хардуера в Proteus с 3D средата на Blender 3D, в която е поставен конструируания робот.



Фигура 69: Създаване на кода в Arduino IDE

В кода са предоставени 2 опции на потребителя, такава за повдигане на ножичестия носач и такава за сваляне.

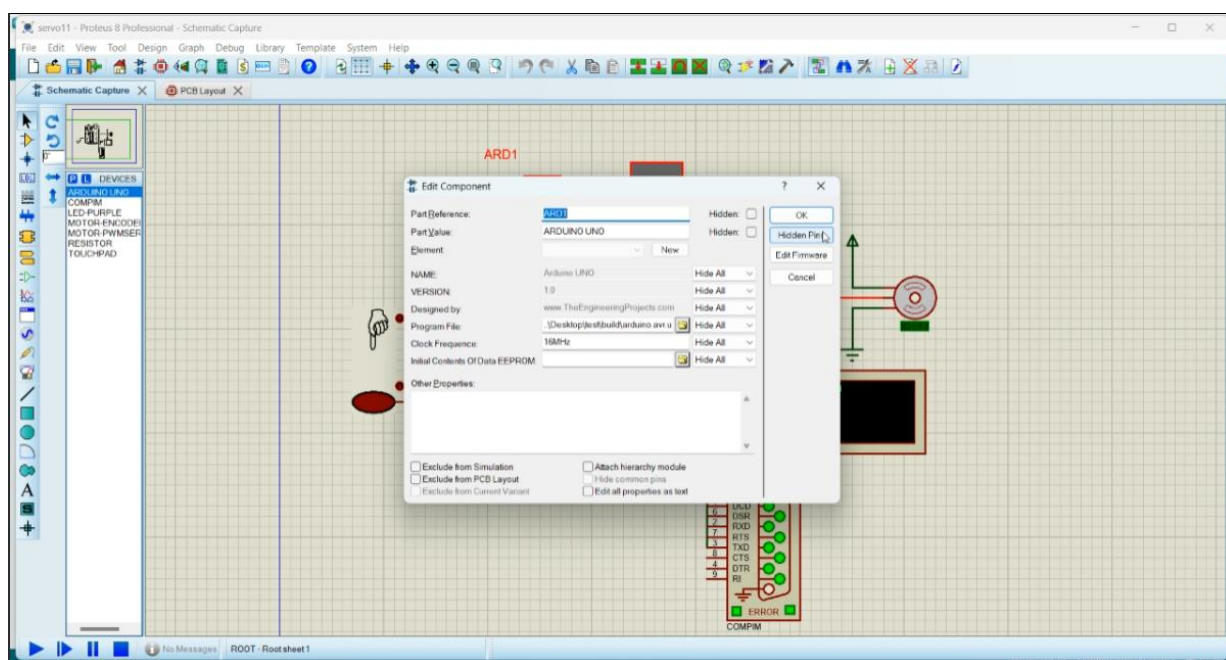


Фигура 70: Хардуерна схема в Proteus

Втора стъпка след създаването на програмата в средата на Arduino IDE е изграждането на хардуерната система и нейното окабеляване в средата на Proteus. За тази цел се използват

библиотеките на Proteus, в които има готови компоненти - мотори, сензори, контролери и т.н. На фигура е показана създадената хардуерна схема, свързваща компонентите, изграждащи модула както и виртуален терминал за въвеждане и визуализиране на данните.

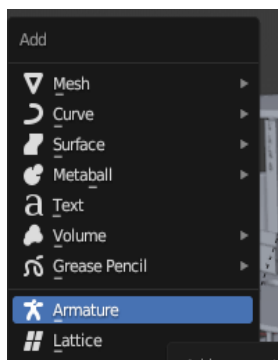
След като всички компоненти са свързани правилно и хардуерната система, изграждаща модула е готова следващата стъпка е да се зареди програмата написана в Arduino IDE в средата на Proteus,където извършваме симулацията. Зареждането на програмата става като в средата на Proteus върху микроконтролера се натисне с десен бутон. В резултат излиза менюто Edit Component, през което зареждаме Arduino файла.



Фигура 71: Зареждане на програмата написана в Arduino IDE в средата на Proteus

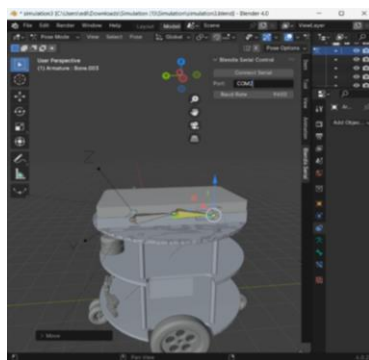
Следваща стъпка е отварянето на 3D модела на робота в 3D средата на Blender. За да може да се движи модела по определения желан от нас начин конструирания части в Solidworks трябва да бъдат експортирани отделно и асемблирани на ново в средата на Blender 3D където се задават необходимите ограничения към 3D обектите и се ригват обектите, които ще бъдат управлявани от програмата и ще се движат по определения начин.

Стъпките на ригване, за да може модела да се движи по определена траектория на база на управляващата програма , която е имплементирана в симулацията Proteus са следните:



Фигура 72

Меню за създаване на скелетна структура



Фигура 73

Генерираната арматура за управление на 3D обекта

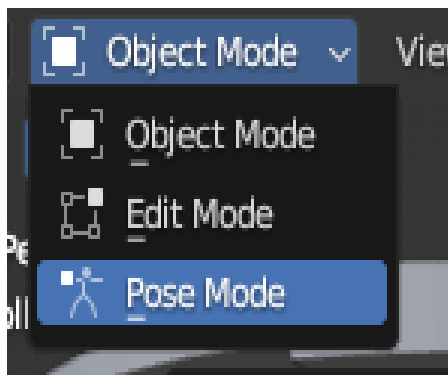


Фигура 74

Позициониране на арматурата в 3D обекта

В обектен режим се създава „арматура“ (скелетна структура, която управлява даден 3D обект). След като се създаде арматурата, тя се премества на мястото, на което искаме да се осъществи движението и се поставя към цялостната конструкция на модела, който желаем да бъде ригнат. (фиг. 72, фиг. 73 и фиг. 74)

В обектен режим, след като се избере желания модел, арматурата се превключва в режим на поза (фигура 75). Следва избор на кост, която да бъде ригната, т.е. скрепена към модела (фигура 76). И накрая се натиска `ctrl + p` и се избира "кост" (фигура 77)



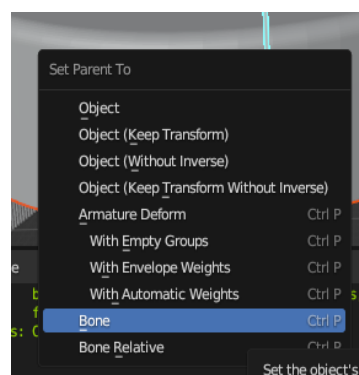
Фигура 75

Избора на меню поза



Фигура 76

Избор на кост, която да бъде ригната

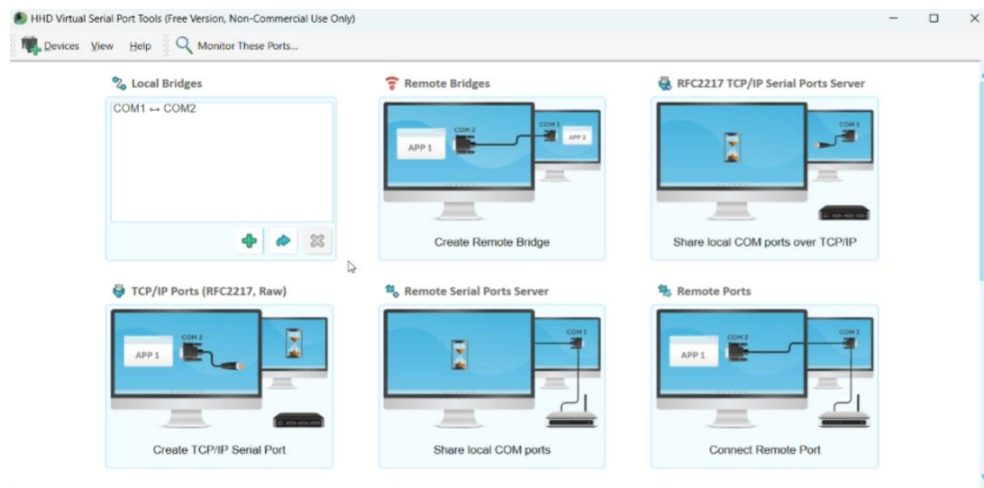


Фигура 77

Меню за избор на „кост“

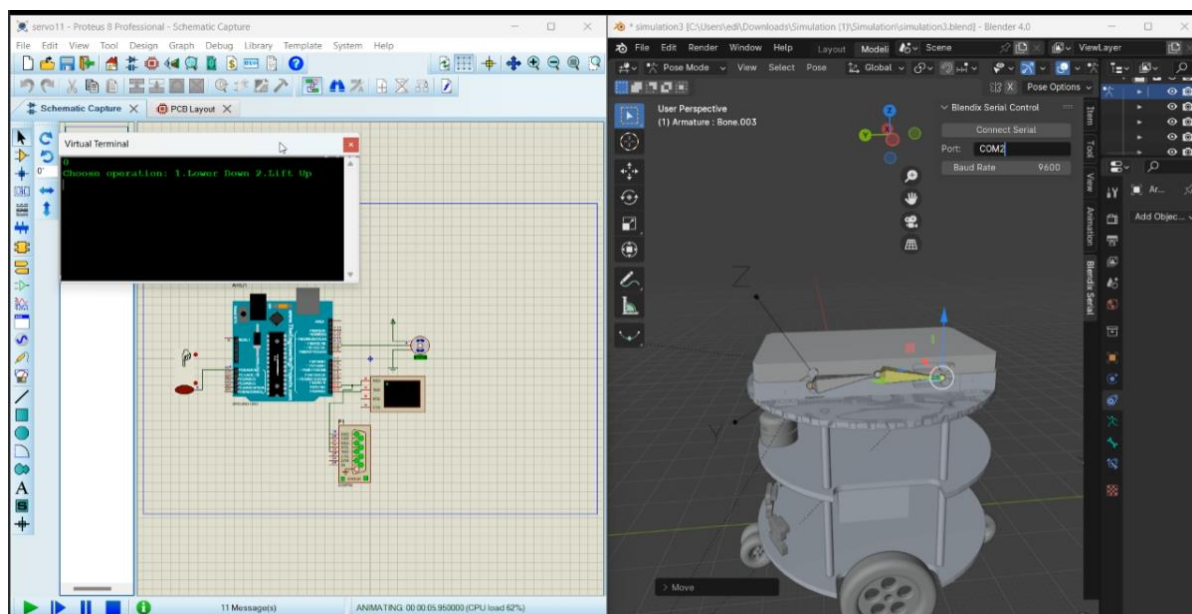
След ригването на модела добавяме приложението към Blender BlendixSerial. Библиотеката BlendixSerial е проектирана да работи заедно с добавката blendixserial в Blender. То позволява контролиране на обекти в Blender чрез серийна комуникация с Arduino или други микроконтролери.

Чрез емулирането на COM портовете от HND Software's Virtual Serial Port Tools заедно с BlendixSerial започва осъществяването на връзката между симулацията в Proteus и 3D конструирания робот с прикачен модул в Blender



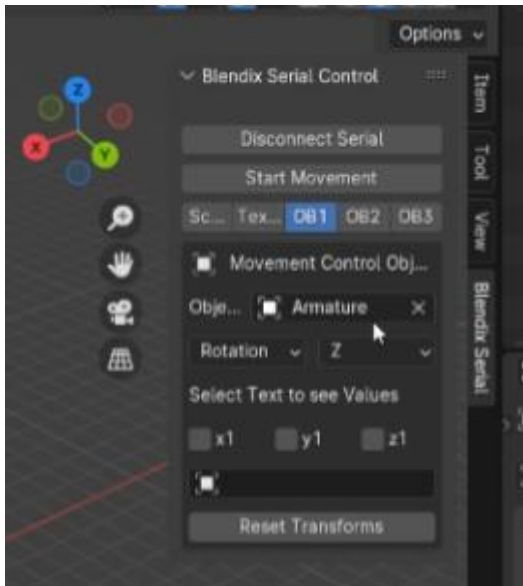
Фигура 78: Емулирането на COM портовете

Стартираме симулацията в Proteus (фигура79). Посредством виртуалният терминал се визуализира стартираната програма, която е написана в Arduino и имплементирана в Proteus чрез генерирания хекс файл. Терминалът изчаква да въведем 1 или 2 за сваляне или повдигане на платформата.

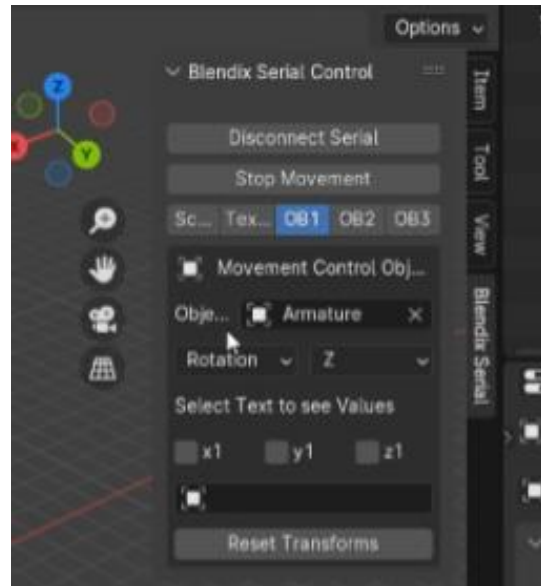


Фигура 79: Стартиране на симулацията в Proteus и избор на COM порт в Blender

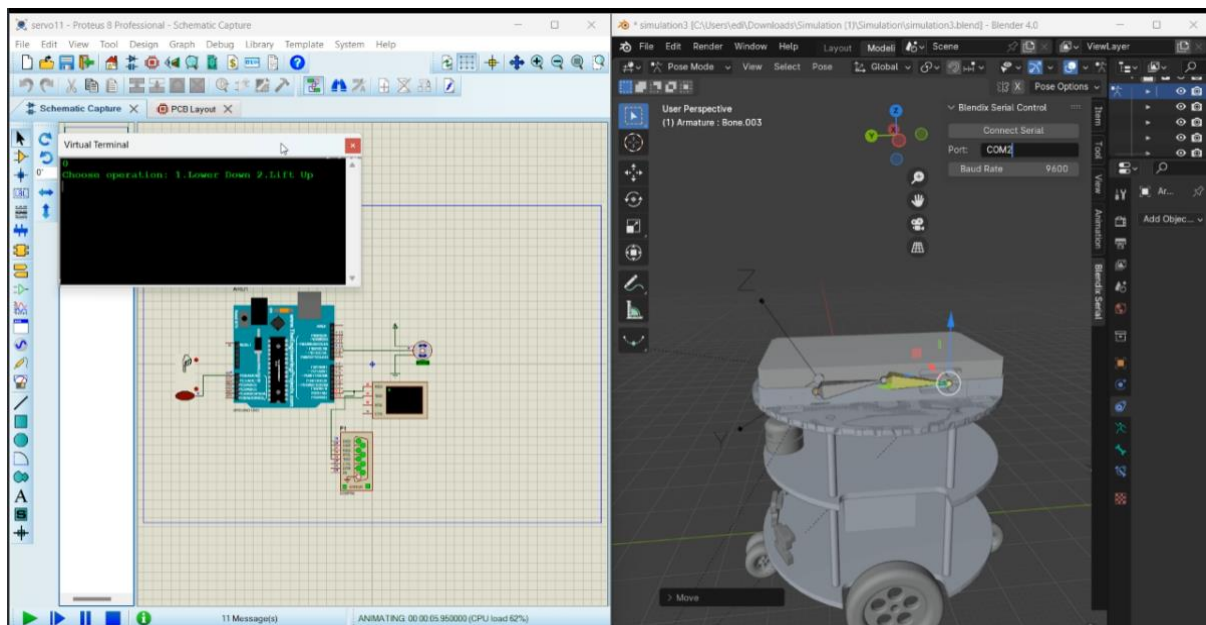
За да се визуализират промените в 3D модела на конструирания робот в падащото меню на BlendixSerial задължително трябва да сме натиснали Connect Serial и Start Movement, както и да сме посочили емулирания порт, което е онагледено на фигура 80 и фигура 81:



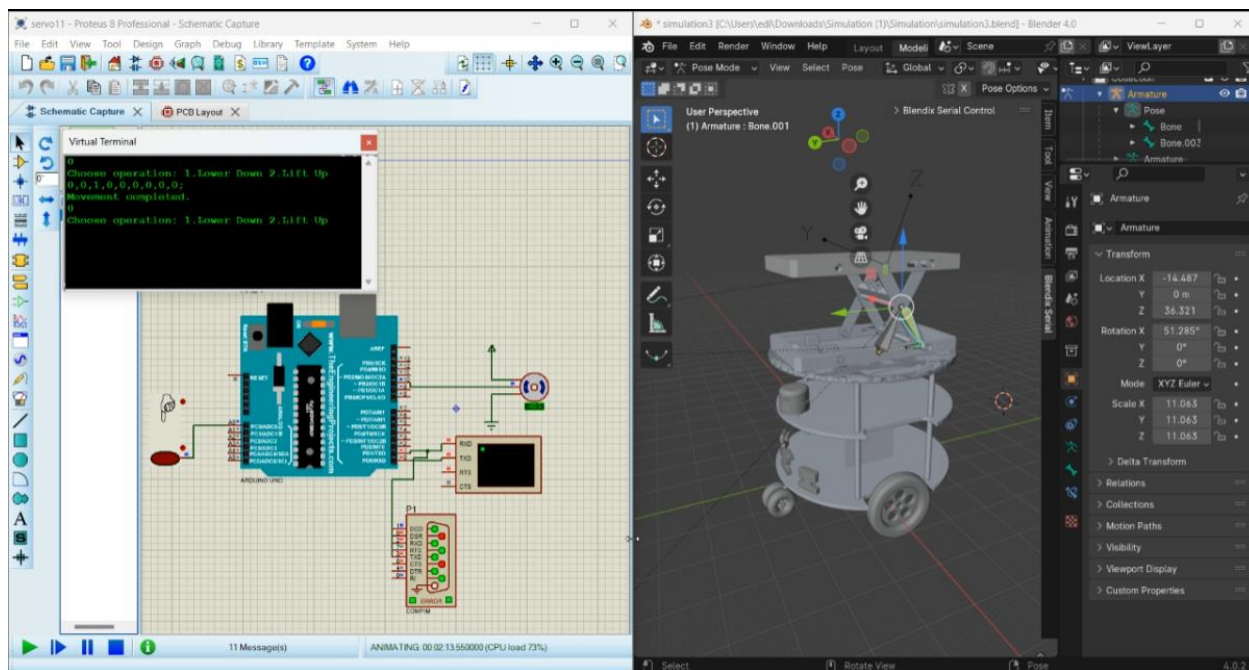
Фигура 80
BlendixSerial преди стартиране



Фигура 81
BlendixSerial след стартиране

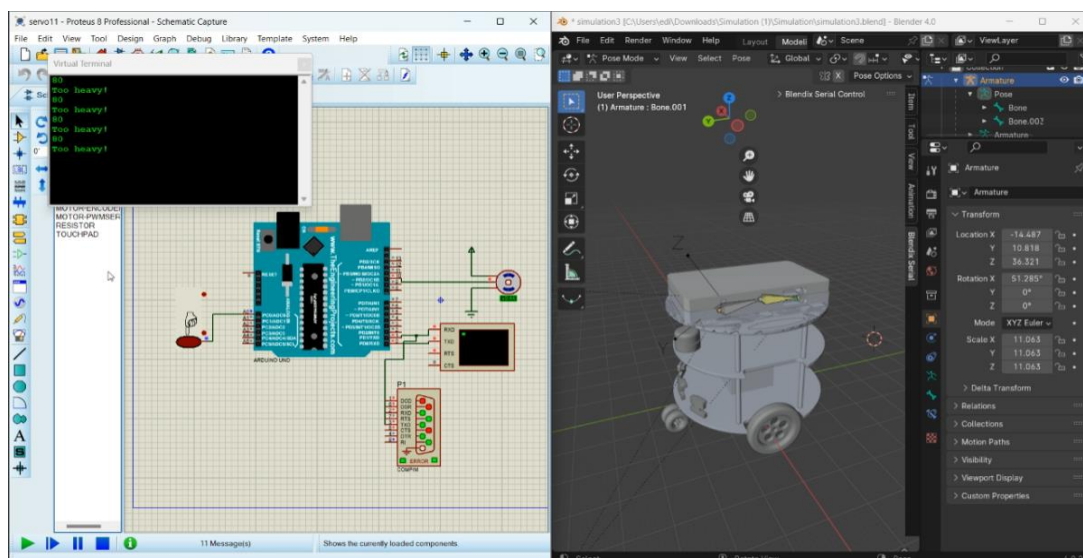


Фигура82:Стартова позиция, изчакваща въвеждането в терминала



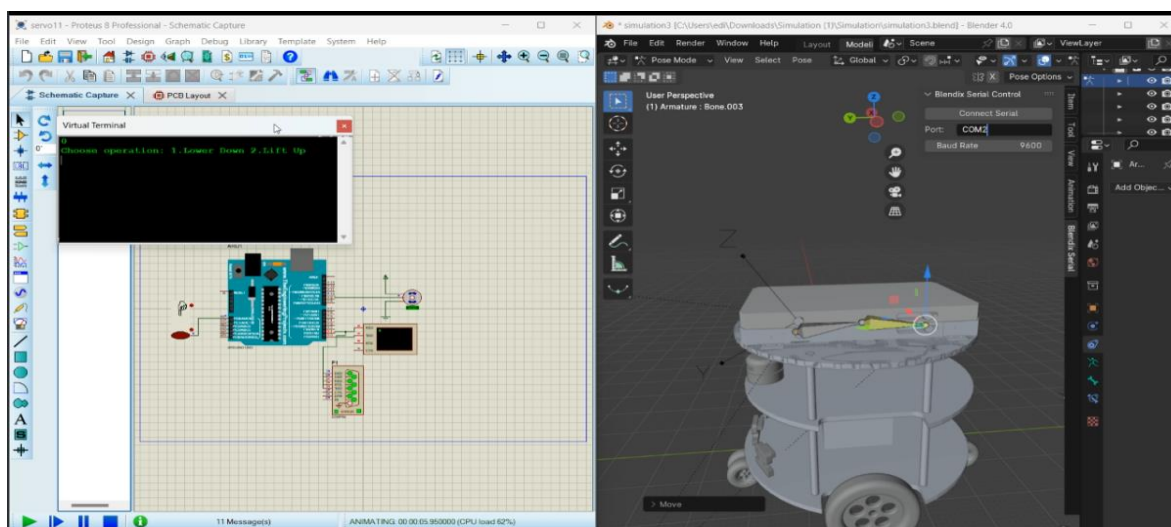
Фигура83: Роботът с повдигнат ножичест подежник

На фигурите 83 и фигура 85 по-горе са изобразени двете възможни позиции на робота, а именно свалена и повдигната платформа. При превишаване на допустимото тегло, потребителят получава предупреждение че товара поставен на платформата е прекалено много и програмата временно прекратява функцията си до отнемане на излишния товар – фигура 84.



Фигура84: Прекратена функцията на робота до отнемане на излишния товар

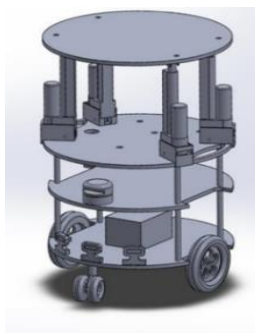
След като движението е успешно завършено терминалът очаква следващото въвеждане на команда при нужда от потребителя.



Фигура85: Симулацията в очакване на следващата команда

3.5 Управление на многоцелевия робот в режим за складиране и доставка посредством повдигаща платформа

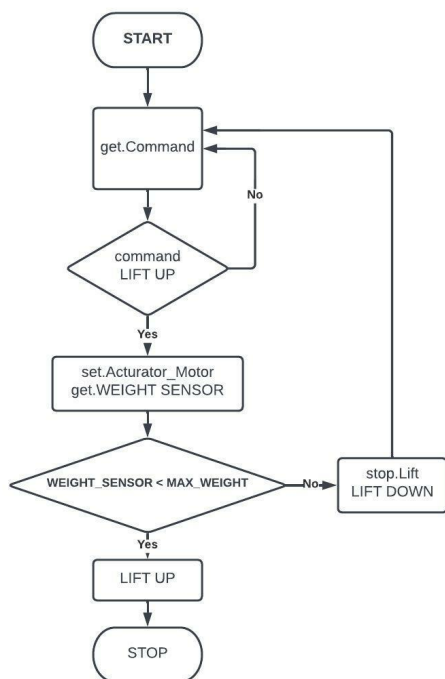
Общият вид на робота в режим в режим за складиране и/или доставка на готова продукция е показан на фигура 86.



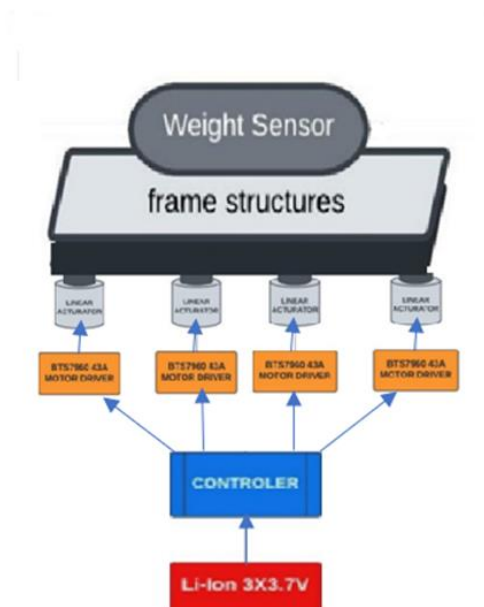
Фигура 86: Робот с монтиран модул с повдигаща платформа за доставка на готова продукция

3.5.1 Алгоритъм на работа на робота

Разработеният алгоритъм на работа на робота в режим за доставка на продукция посредством модул с повдигаща платформа е представен на фигура 87. Подобно на ножичестия подеменник модулет с повдигаща платформа за складиране и доставка преминава през същите функционални стъпки.



Фигура 87. Блок схема за управлението на модула



Фигура 88. Схема на основните компоненти, изграждащи модула

На фигура 88 е представена хардуерната система на модула. Сервизният робот в режим за складиране и/или доставка на готова продукция включва диференциална мобилна платформа, индустриален компютър и контролери, електромеханична задвижваща система (постоянно токови двигатели с редуктори и енкодери), 12V LiPo акумулаторна батерия и сензорна система. Използваният линеен задвижващ механизъм е 12 волта с максимална товароносимост 90 кг.

3.5.2. Симулация и резултати от верифицирането на модула и алгоритъма на работа

Верифицирането на модула и алгоритъма на работа се осъществи чрез реализирането на компютърна симулация, за която се извърши паралелно и синхронизираното прилагане на следните софтуери:

- SolidWorks-CAD
- Proteus 8.16
- Arduino IDE
- HHD Software's Virtual Serial Port Tools
- Blender 3D

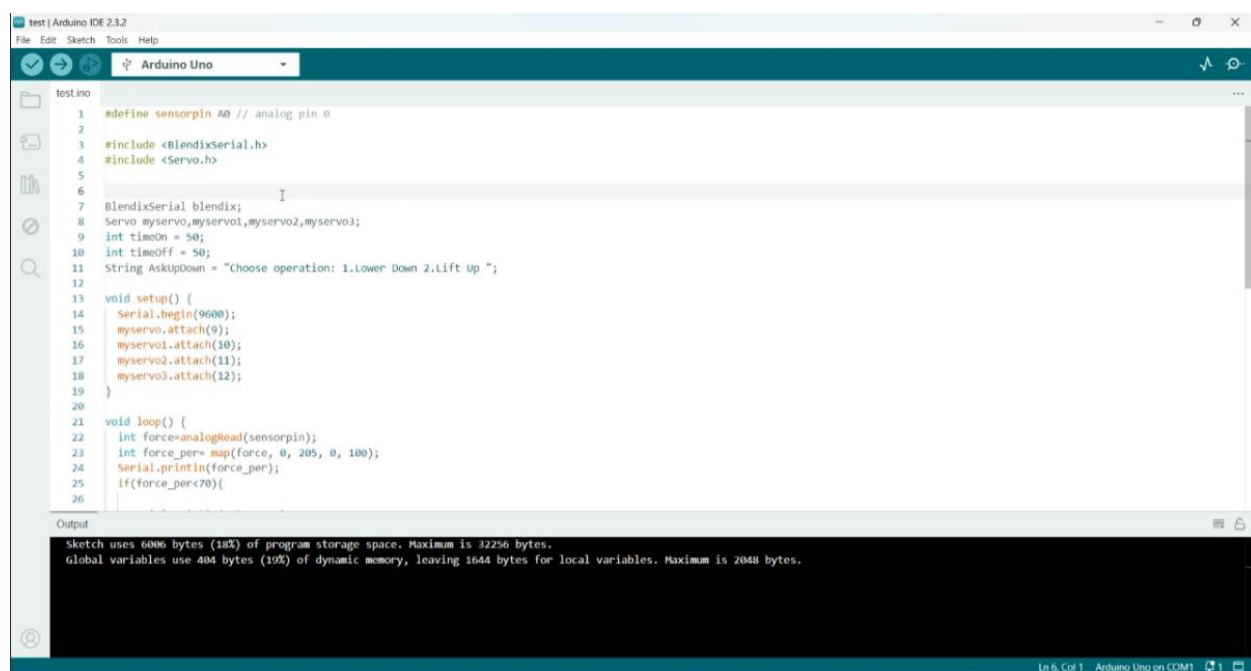
Първа стъпка е създаване на кода в Arduino IDE. За да може да се осъществи симулацията в

кода се въвежда BlendixSerial.h библиотеката, която позволява комуникацията между симулацията на хардуера в Proteus с 3D средата на Blender 3D, в която е поставен конструирания робот.

При стартиране на симулационната част в Proteus във виртуалния терминал на симулацията оператора избира вида операция/движение на платформата/:

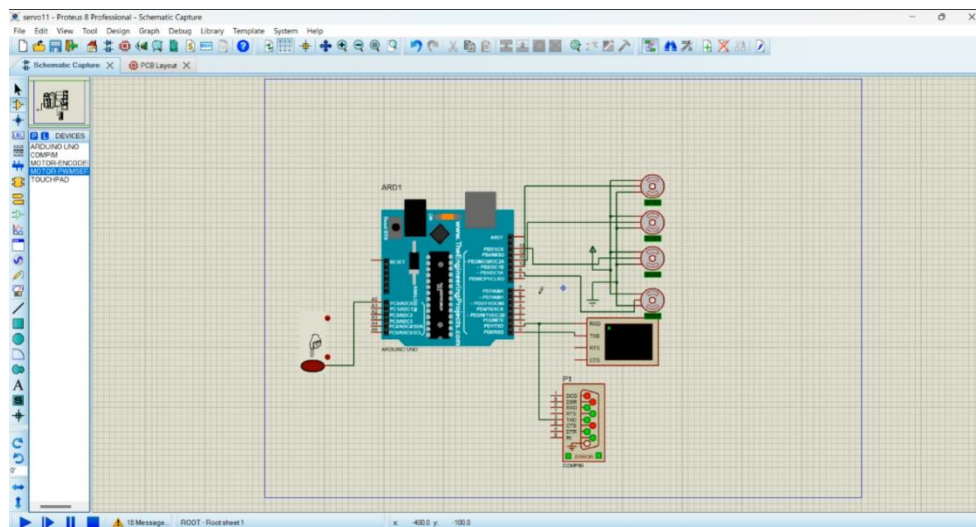
- 1- за сваляне
- 2- за вдигане

В програмата при превишаване на лимита на тегло, което може да поеме платформата терминалът връща съобщение “Too heavy!” и не позволява изпълнението на операцията до намаляването на килограмите в допустимите стойности.



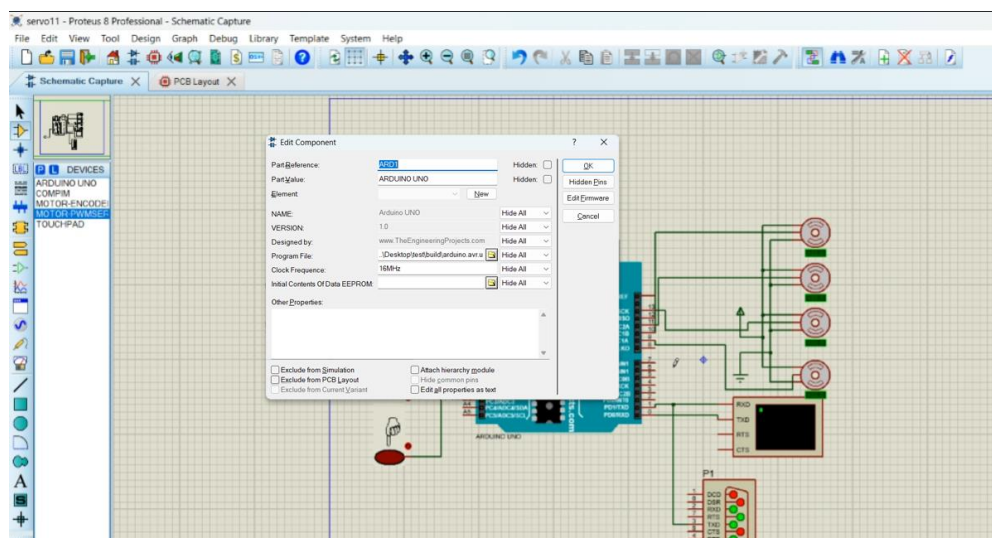
Фигура 89: Създадената програма в средата на Arduino IDE

Втора стъпка след създаването на програмата в средата на Arduino IDE е изграждането на хардуерната система и нейното окабеляване в средата на Proteus. За тази цел се използват библиотеките на Proteus, в които има готови компоненти - мотори, сензори, контролери и т.н. На фигура 90 е показана създадената хардуерна схема, свързваща компонентите, изграждащи модула както и виртуален терминал за въвеждане и визуализиране на данните.



Фигура 90: Хардуерна схема

След като всички компоненти са свързани правилно и хардуерната система, изграждаща модула е готова следващата стъпка е да се зареди програмата написана в Arduino IDE в средата на Proteus, където извършваме симулацията. Зареждането на програмата става като в средата на Proteus върху микроконтролера се натисне с десен бутон. В резултат излиза менюто Edit Component, през което зареждаме Arduino файла.

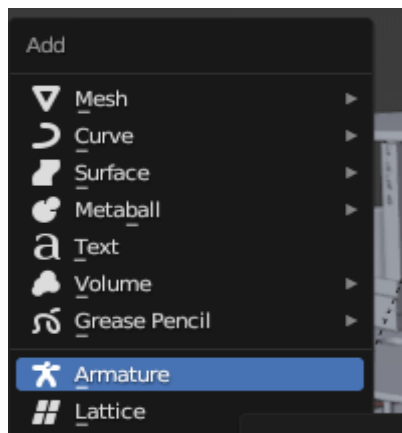


Фигура 91: Зареждане на Arduino програмата в средата на Proteus

Следваща стъпка е отварянето на 3D модела на робота в 3D средата на Blender. За да може да се движи моделът по определения желан от нас начин конструиранияте части в Solidworks трябва да бъдат експортирани отделно и асемблирани на ново в средата на Blender 3D където

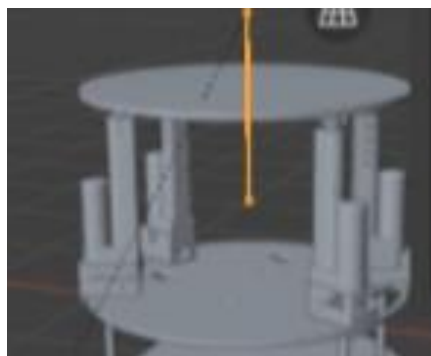
се задават необходимите ограничения към 3D обектите и се ригват обектите, които ще бъдат управлявани от програмата и ще се движат по определен начин.

Стъпките на ригване, за да може моделът да се движи по определена траектория на база на управляващата програма , която е имплементирана в симулацията Proteus са следните:



Фигура 92

Меню за създаване на скелетна структура



фигура 93

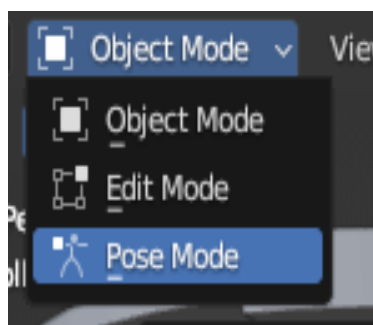
Генерираната арматура за управление на 3D обекта



фигура 94

Позициониране на арматурата в 3D обекта

В обектен режим се създава „арматура“ (скелетна структура, която управлява даден 3D обект) (фиг. 92). След като се създаде арматурата, тя се премества на мястото, на което искаме да се осъществи движението и се поставя към цялостната конструкция на модела, който желаем да бъде ригнат. (фиг. 93 и фиг.94). В обектен режим, след като се избере желанния модел, арматурата се превключва в режим на поза (фигура 95). Следва избор на кост, която да бъде ригната, т.е. скрепена към модела (фигура 96). И накрая се натиска ctrl + p и се избира "кост"(фигура 97)



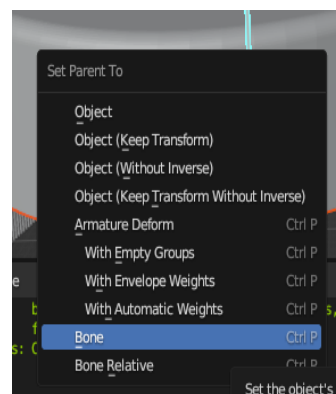
Фигура 95

Избора на меню поза



фигура 96

Избор на кост, която да бъде ригната



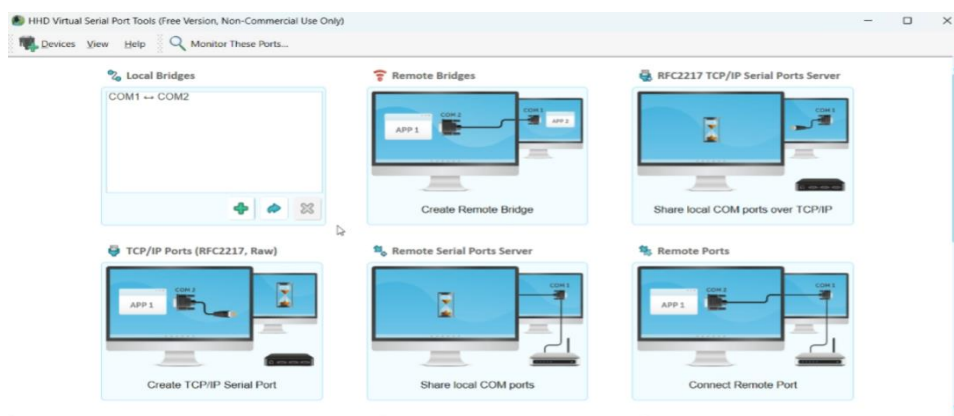
фигура 97

Меню за избор на „кост“

След ригването на модела добавяме приложението към Blender BlendixSerial. Библиотеката BlendixSerial е проектирана да работи заедно с добавката blendixserial в Blender. То позволява

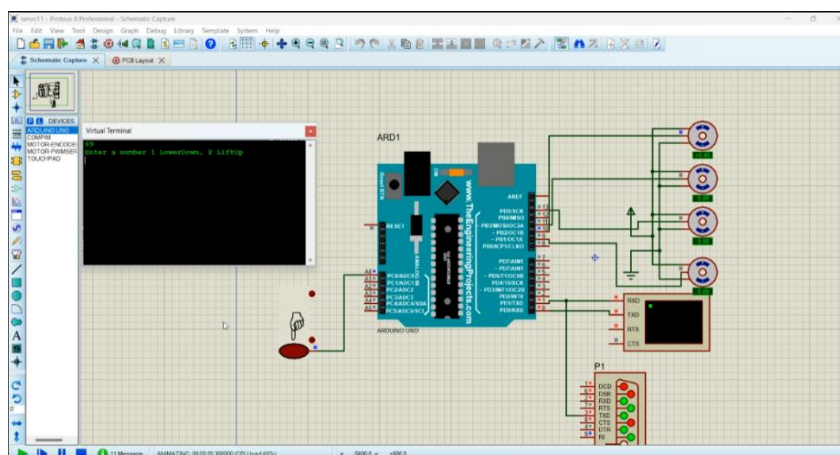
контролиране на обекти в Blender чрез серийна комуникация с Arduino или други микроконтролери.

Чрез емулирането на COM портовете от HHD Software's Virtual Serial Port Tools заедно с BlendixSerial започва осъществяването на връзката между симулацията в Proteus и 3D конструирания робот с прикачен модул в Blender



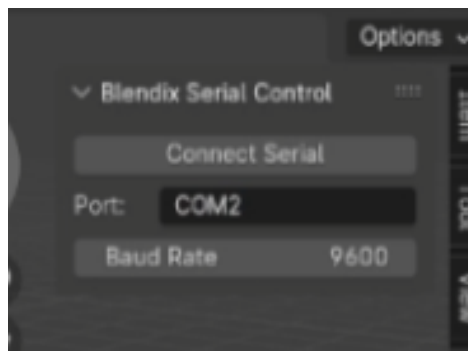
Фигура 98: Емулиране на COM портовете

Стартираме симулацията в Proteus. Посредством виртуалния терминал се визуализира стартираната програма, която е написана в Arduino и имплементирана в Proteus чрез генерирания хекс файл. Терминала изчаква да въведем 1 или 2 за сваляне или издигане на повдигаща платформа.



Фигура 99: Стартиране на симулацията от Proteus

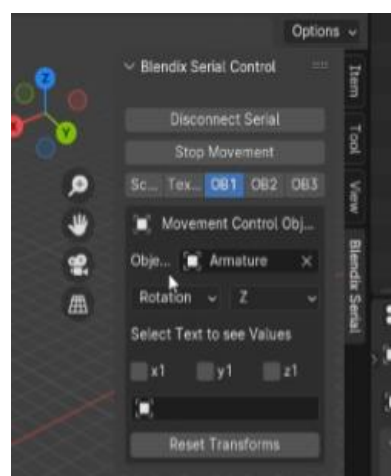
За да се визуализират промените в 3D модела на конструируания робот в падащото меню на BlendixSerial задължително трябва да сме натиснали Connect Serial и Start Movement, както и да сме посочили емулирания порт. – (фигура 100, фигура 101, фигура 102)



Фигура 100
Избор на COM порт в
средата на Blender

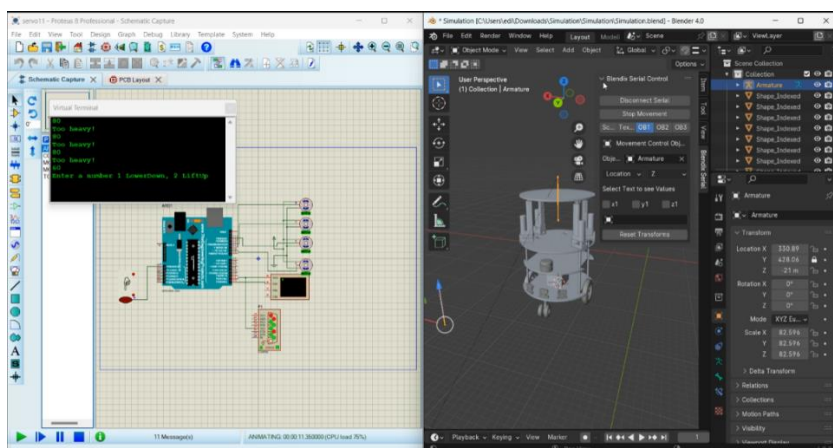


фигура 101
BlendixSerial
преди стартиране

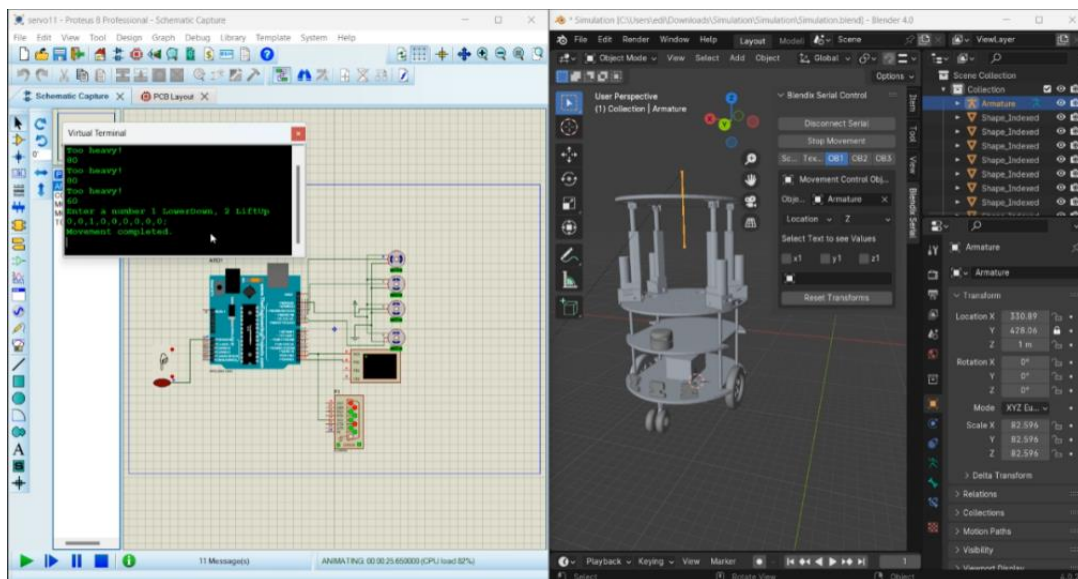


фигура 102
BlendixSerial
след стартиране

Чрез въвеждане на „2“ във виртуален терминал позицията на повдигащата платформа се издига нагоре по Z axis (в случаите когато отчетената тежест е под 70% от допустимата). След като движението е успешно завършено терминалът очаква следващото въвеждане. На фигура 103 и фигура 104 е показано посредством визуализирането във виртуалния терминал на ситуация, в която тежестта е над допустимото и операцията не е допусната и следващата ситуация, в която тежестта е в зададените допустими стойности и движението е извършено.

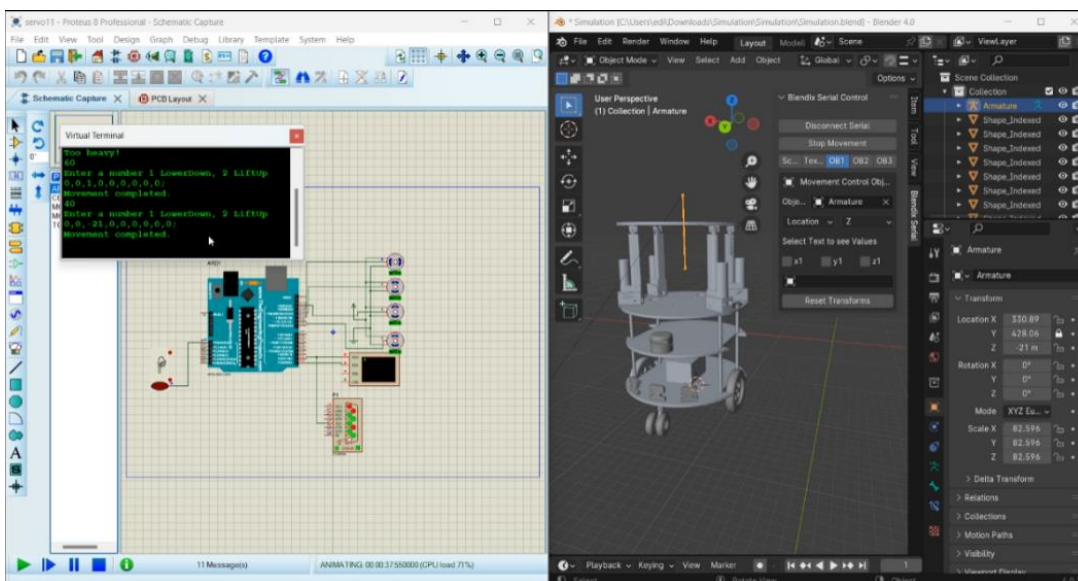


Фигура103 Ситуация, в която тежестта е над допустимото и операцията не е допусната



Фигура 104 Движението е извършено- тежестта е в зададените допустими стойности

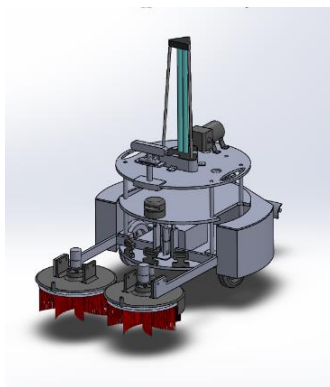
Чрез въвеждане на „1“ във виртуалния терминал позицията на повдигащата платформа се връща в първоначалната си позиция. След като движението е успешно завършено терминалът очаква следващото въвеждане (фиг. 105)



Фигура 105 Терминалът в очакване следващото въвеждане

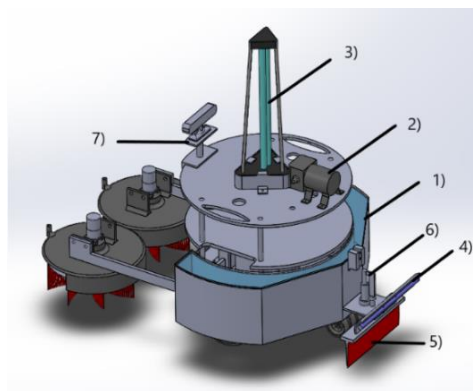
3.6 Управление на многоцелевия робот в режим на почистване

Общият вид на робота със свързан към универсалната мобилна платформа модул за почистване е показан на фигура 106.



Фигура 106. Общ вид на робота с монтиран хигиенизиращ модул

Платформата на мобилния робот, към която е монтиран разработеният хигиенен модул, се състои от 3 HDPE плочи с дебелина 9,5 mm и диаметър 450 mm. Височината на платформата на робота е 397 mm. Всяка от плочите е закрепена с 4 пръта с дебелина 12 mm всяка. За движението на робота към платформата са монтирани 4 колела - 2 диференциално задвижвани с диаметър 155 mm и 2 колела, разположени в предния и задния край. Двигателите използвани за движение на робота са 12 V, 96 W, оборудвани с енкодери. Пред робота е поставена камера, чрез която се осъществява телеоперацията. Роботът е оборудван допълнително с две антибактериални UV лампи (фиг.107).



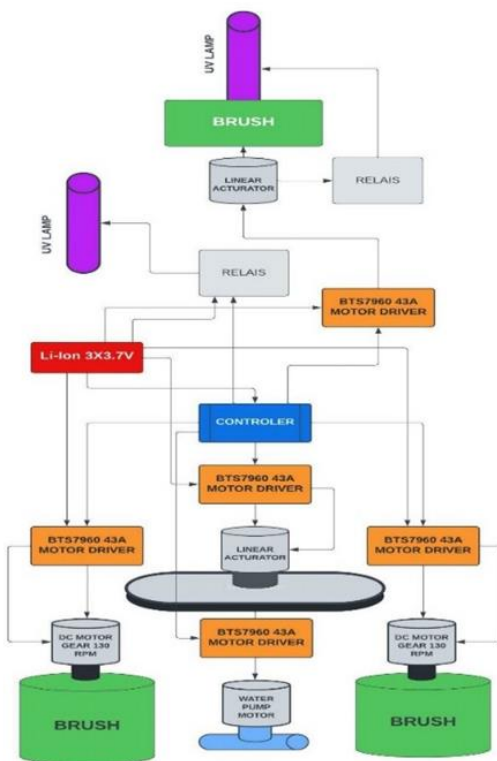
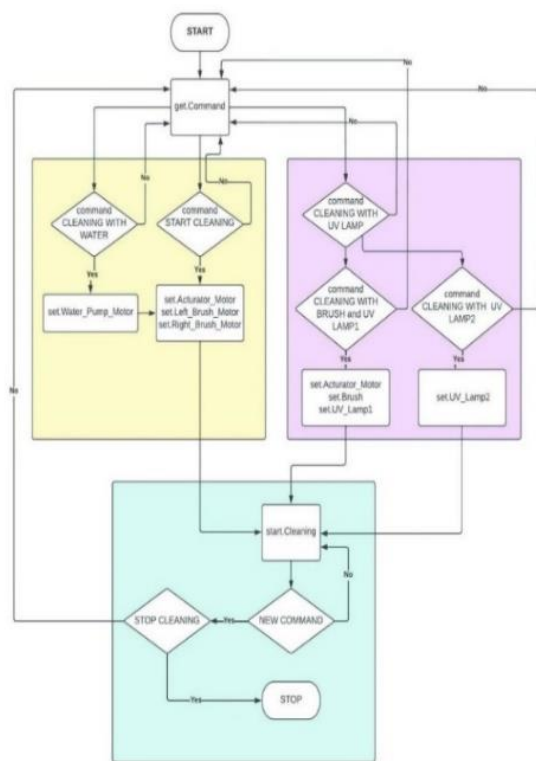
Фигура 107: 1- резервоар за препарат с капак, 2- помпа за резервоар, 3- антибактериална UV лампа за хигиенизиране на околностите , 4- антибактериална UV лампа за хигиенизиране на пода , 5- задна регулируема четка, 6- линеен задвижващ механизъм за преместване на заден брсух, 7- камера за телеоперация

Първата антибактериална UV лампа, монтирана на третата горна плоча, е с цел дезинфекция на повърхности, които не са в контакт с почистващите четки в околната среда, както и отстраняване на потенциални патогени във въздуха. Втората UV лампа, разположена в задния край на мобилния робот, се използва като последна технологична операция, нанесена

върху вече почистените повърхности, след като поставената до нея гумена четка е изгласкала остатъчния препарат от третираната повърхност. Повдигането и спускането на гумената четка, както и на ротационните четки и тяхното активиране зависи от избраната технологична операция, която ще изпълнява разработеният робот с хигиенен модул и се осъществяват чрез отделен контролер, свързан към главния компютър на робота .

3.6.1 Алгоритъм на работа на робота

Разработеният алгоритъм на работа в режим на почистване е представен на фигура 108



Фигура 108: Блокова схема на алгоритъма за управление

Фигура109 : Хардуерна система на хигиенния модул

Алгоритъмът на работа включва следните стъпки:

- Започва се с инсталация и стартиране на модула. След като операторът е инсталирал почистващия модул и е въвел платформата в експлоатация (включване на захранването), програмата се стартира и контролерът изпраща сигнал до задвижващия механизъм. Моторът започва да повдига констукцията, на която са прикрепени въртящите се четки, докато се достигне ъгълът, зададен от програмата. След извършване на тази процедура, платформата е в режим "в готовност", докато не бъде издадена команда от оператора. Тази процедура трябва да се извърши и в случай, че платформата е прекъснала работата си при аварийна

ситуация и конструкцията, носеща въртящите се четки, е останала в работно положение.

- Когато програмата получи командата "стартране на почистването", контролерът изпраща сигнал до драйвера [93] на двигателя. Задвижващият механизъм започва да спуска рамото, на което са монтирани въртящите се двигатели, докато четките докоснат работната повърхност. След като конструкцията е спусната, контролерът изпраща сигнал до драйверите на двигателите, задвижващи въртящите се четки. Те се задвижват, като достигат максималната си скорост за 5 секунди. Това предотвратява натоварване, което би се получило от внезапното стартиране на двигателите.
- Когато програмата получи командата "започнете почистването с вода", ако платформата е била в режим "изчакване", процедурата в стъпка 2 се повтаря и след като двигателите, задвижващи въртящите се четки, достигнат максималната си скорост, контролерът изпраща сигнал до драйвера на двигателя на помпата на резервоара.
- Ако платформата е била в режим "стартране на почистването", когато е била дадена командата "стартране на почистването на водата", контролерът директно изпраща сигнал само на драйвера на двигателя, управляващ водната помпа.
- Когато програмата получи командата "започнете почистване на пода с UV лампа", контролерът изпраща сигнал до драйвера на линейния мотор. Моторът започва спуска рамото, към което е монтирана четка за почистване на пода и UV лампа. След като рамото се спусне на пода, се изпраща сигнал към релето, захранващо UV лампата.
- При издаване на командата "Започнете почистването на околната среда с UV лампа", контролерът изпраща сигнал към релейното захранване, контролиращо UV лампата, почистваща околната среда.
- При командата "край на почистването" контролерът подава последователно следните сигнали:
 - сигнал към водача на двигателя, задвижващ помпата на резервоара за спиране на работа,
 - сигнал към драйверите на двигателите, задвижващи въртящите се четки за спиране на работата,
 - сигнал към драйвера на линейния мотор да вдигне конструкцията до определената позиция, зададена от програмата,
 - сигнал към драйвера на линейния мотор за повдигане на задната четка и команда за изключване на UV лампата за хигиена на пода и централната UV лампа, почистваща

околностите в стаята.

След тази команда платформата отново ще бъде в режим на готовност и захранването може да бъде прекъснато.

На фигура 109 е представена хардуерната система на почистващия модул. Почистващият модул се захранва от литиево-йонна батерия, състояща се от 3 серийно свързани клетки с напрежение 3.7V и максимален ток 5A.

3.6.2 Телеуправление на разработения модул за почистване

Управлението на почистващия модул е добавено към уеб-базирания графичен интерфейс за телеоперация на робота. Връзката между робота и потребителя е чрез Wi-Fi. Потребителят може да използва мобилно устройство или лаптоп- единственото условие е да се свърже с мрежата на робота и да има уеб браузър. Телеуправлението се получава с помощта на технологията на уеб сокета. Те предават данни от робота към оператора и обратно.

Към интерфейса са добавени бутони и инструменти за управление на различните модули и операциите, които изпълняват. Въз основа на телеоперацията операторът задава създаването на карта и запазването на картата на текущата стая, а според ситуацията, която наблюдава в стаята, задава кои системи да се включат, когато роботът я почиства. Освен това по всяко време операторът има достъп до робота и опцията за дистанционно управление.

Функциите за почистване, вградени в графичния интерфейс, са следните:

- Създаване на карта: операторът ръчно разхожда робота из стаята, докато се създаде пълна карта. След това всяка процедура използва направената карта [16]. Използва се алгоритъм за последователно сканиране на картата, за да се гарантира, че процедурите за почистване се извършват навсякъде
- Започнете да почиствате само с четки
- Започнете почистване с четки и пръскане с препарат
- Включване и активиране на дезинфекциращата подсистема с UV лампи. Тъй като има опасност за хората и животните по време на тази процедура, преди стартиране на лампите се активира алгоритъм за защита от радиация. В този режим роботът засича присъствието на хора или животни. Ако такива бъдат открити, UV лампите се изключват и сигнализират в графичния интерфейс на оператора. За по-добро възприятие роботът е в състояние да разпознава маркери и други обекти [17].
- Почистване включително всички системи /четки, миене, UV лампи/ на санитарния модул:

В този режим се активират всички системи на почистващия модул, както и всички алгоритми.

Обратната връзка от робота към оператора се реализира чрез визуализация на данни от сензорите и устройствата на робота. Операторът може да следи видео потока от камерата на робота, да проследява местоположението на робота според навигационната карта, да види дали има зададена операция и до каква степен тя е завършена. Когато възникне проблем при извършване на операция или възникне неизправност, той също се съобщава на оператора.

В допълнение към автоматизирани операции, към графичния интерфейс са добавени бутони за управление на отделните функции на модулите. По този начин операторът може да използва робота в режим на ръчна телеоперация, за диагностициране на системи и др.

3.6.3. Симулация и резултати от верифицирането на модула и алгоритъма на работа

За верифициране на модула и алгоритъма на работа се състави и реализира компютърна симулация посредством синхронизираното прилагане на следните софтуери:

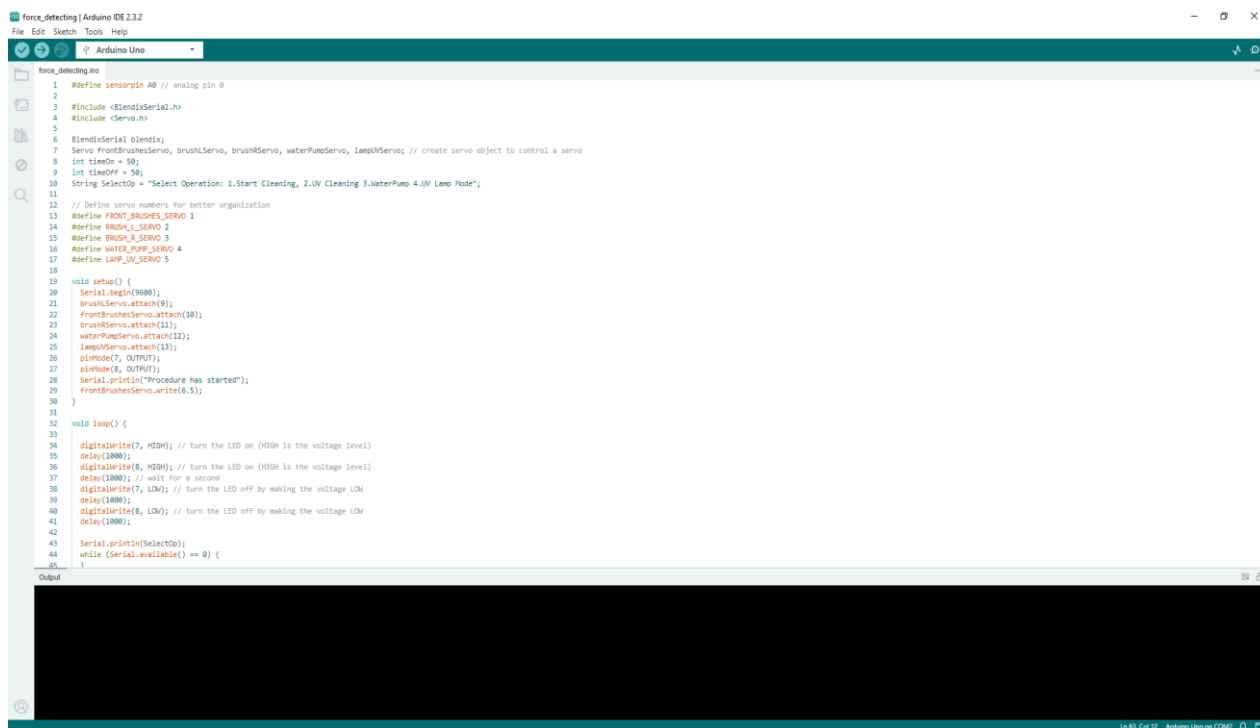
- SolidWorks-CAD
- Proteus 8.16
- Arduino IDE
- HHD Software's Virtual Serial Port Tools
- Blender 3D

Първата стъпка е създаване на кода в Arduino IDE. За да може да се осъществи симулацията в кода се въвежда BlendixSerial.h библиотеката, която позволява комуникацията между симулацията на хардуера в Proteus с 3D средата на Blender 3D, в която е поставен конструирания робот.

При стартиране на симулационната част в Proteus във виртуалния терминал на симулацията операторът избира кои режими на работа на почистващия модул да активира. В програмата са заложили 4 режима, които се въвеждат с цифра в терминала:

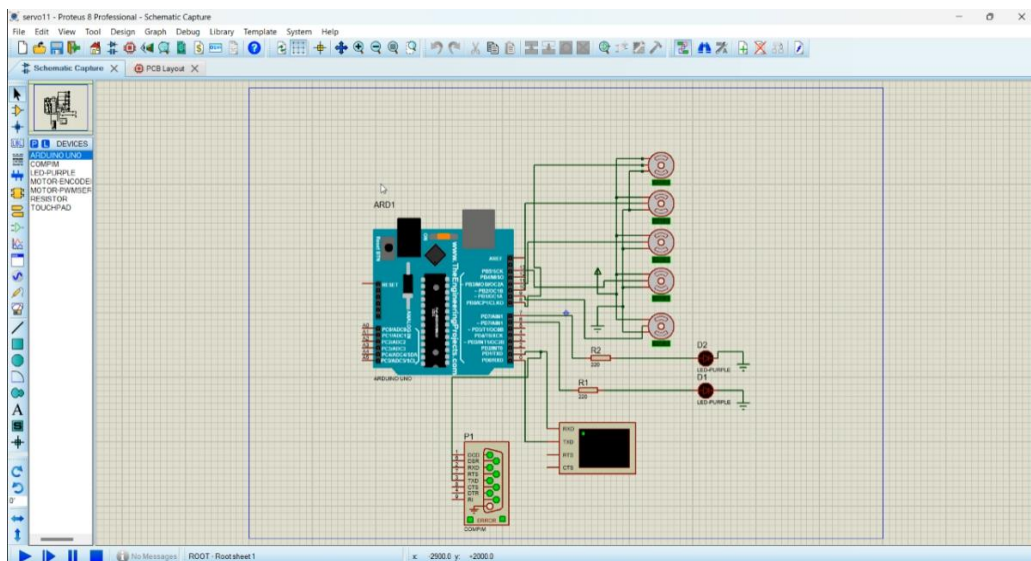
- 1- начало на почистването (започва да почиства с четки след като раменната конструкция бъде свалена);
- 2- UV почистване (почистване с четката, позиционирана в задната част на робота заедно с UV лампата прикачена към нея);
- 3- почистване с вода (стартира електрическата помпа за почистване с вода посредством дюзите, позиционирани в предната част на ротационните четки);

4- режим UV лампа (почистване на околната среда посредством UV лампата монтирана върху най-горната плоча на мобилния робот)



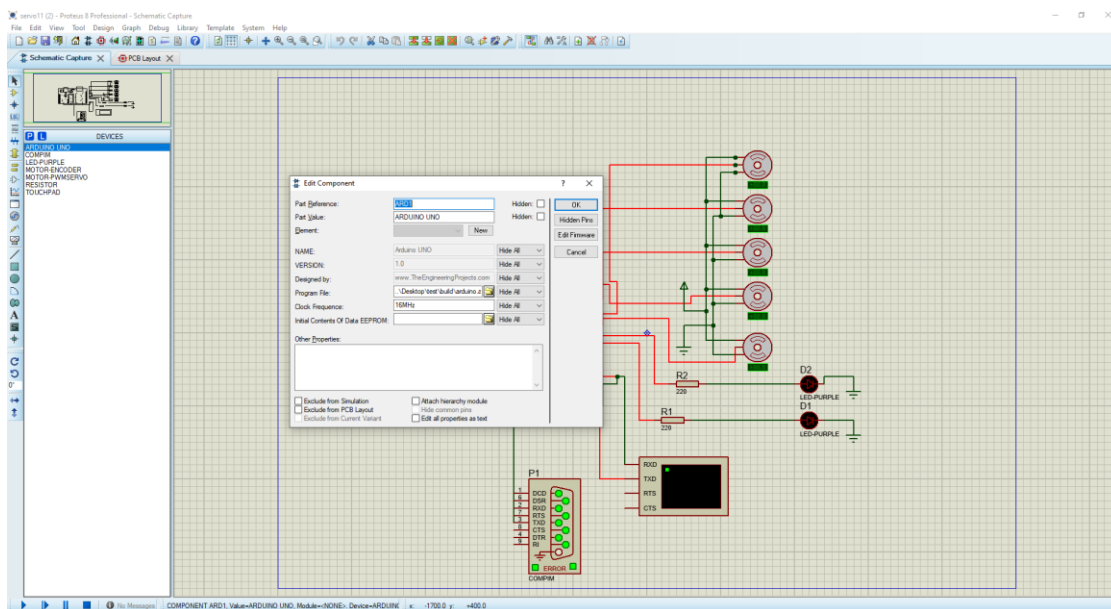
Фигура 110: Създаването на програмата в средата на Arduino IDE

Втора стъпка след създаването на програмата в средата на Arduino IDE е изграждането на хардуерната система и нейното окабеляване в средата на Proteus. За тази цел се използват библиотеките на Proteus, в които има готови компоненти - мотори, сензори, контролери и т.н. На фигура 111 е показана създадената хардуерна схема, свързваща компонентите, изграждащи модула както и виртуален терминал за въвеждане и визуализиране на данните.



Фигура 111: Хардуерна схема на почистващия модул

След като всички компоненти са свързани правилно и хардуерната система, изграждаща модула е готова следващата стъпка е да се зареди програмата написана в Arduino IDE в средата на Proteus, където извършваме симулацията. Зареждането на програмата става като в средата на Proteus върху микроконтролера се натисне с десен бутон. В резултат излиза менюто Edit Component, през което зареждаме Arduino файла.

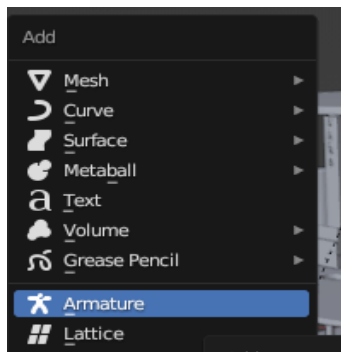


Фигура 112: Зареждането на Arduino файла в средата на Proteus

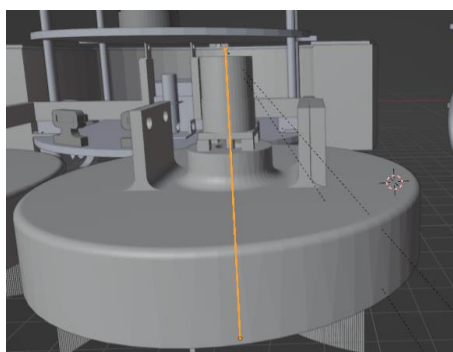
Следваща стъпка е отварянето на 3D модела на робота в 3D средата на Blender. За да може да се движи модела по определения желан от нас начин конструиранияте части в Solidworks

трябва да бъдат експортирани отделно и асемблирани на ново в средата на Blender 3D където се задават необходимите ограничения към 3D обектите и се ригват обектите, които ще бъдат управлявани от програмата и ще се движат по определен начин.

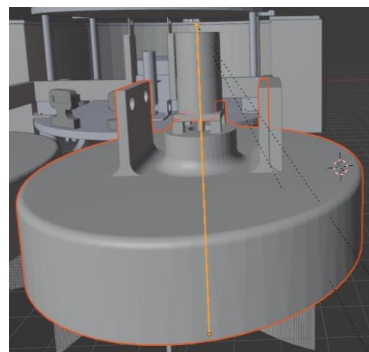
Стъпките на ригване, за да може моделът да се движи по определена траектория на база на управляващата програма, която е имплементирана в симулацията Proteus са следните:



Фигура 113
Меню за създаване на скелетна структура

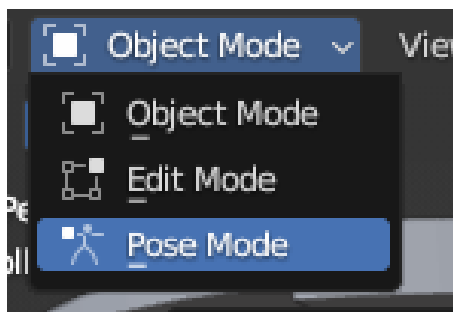


Фигура 114
Генерираната арматура за управление на 3D обекта

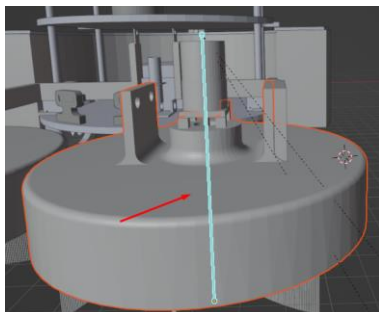


Фигура 115
Позициониране на арматурата в 3D обекта

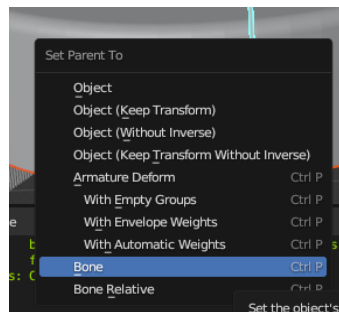
В обектен режим се създава „арматура“ (скелетна структура, която управлява даден 3D обект). – фиг.113. След като се създаде арматурата, тя се премества на мястото, на което искаме да се осъществи движението и се поставя към цялостната конструкция на модела, който желаем да бъде ригнат. – фиг.114 и фиг.115. В обектен режим, след като се избере желания модел, арматурата се превключва в режим на поза (фигура 116). Следва избор на кост, която да бъде ригната, т.е. скрепена към модела (фигура 117). И накрая се натиска **ctrl + p** и се избира "кост" (фигура 118)



Фигура 116
Избора на меню поза



фигура 117
Избор на кост, която да бъде ригната

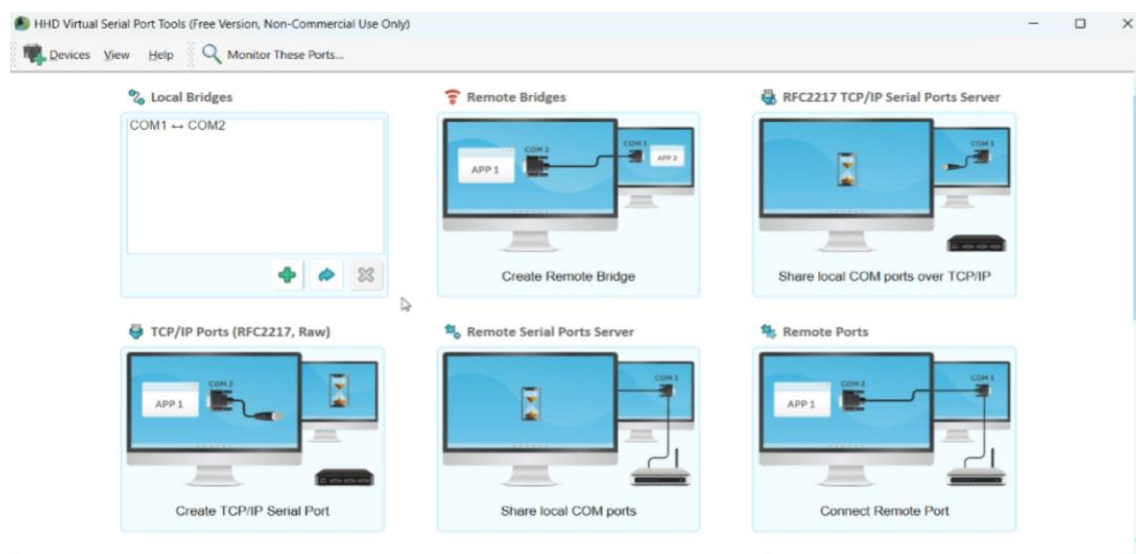


фигура 118
Меню за избор на „кост“

След ригването на модела добавяме приложението към Blender BlendixSerial. Библиотеката BlendixSerial е проектирана да работи заедно с добавката blendixserial в Blender. То позволява

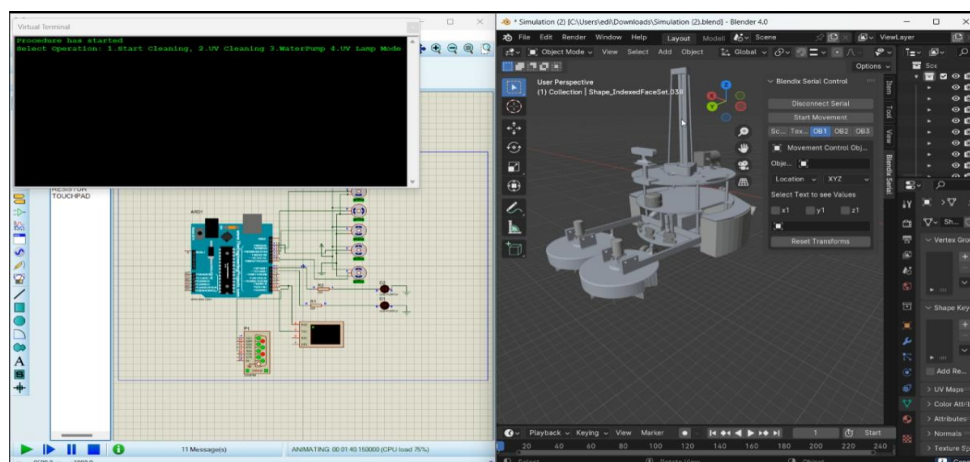
контролиране на обекти в Blender чрез серийна комуникация с Arduino или други микроконтролери.

Чрез емулирането на COM портовете от HHD Software's Virtual Serial Port Tools заедно с BlendixSerial започва осъществяването на връзката между симулацията в Proteus и 3D конструирания робот с прикачен модул в Blender



Фигура 119: Емулиране на COM портовете

Стартираме симулацията в Proteus. Посредством виртуалният терминал се визуализира стартираната програма, която е написана в Arduino и имплементирана в Proteus чрез генерирания hex файл. Терминалът изписва, че процедурата е започнала и изчаква да въведем режима на почистване, който искаме да стартираме.

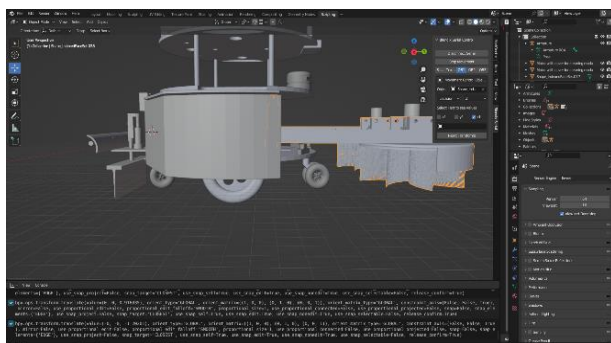


Фигура 120: Стартиране на симулацията в Proteus

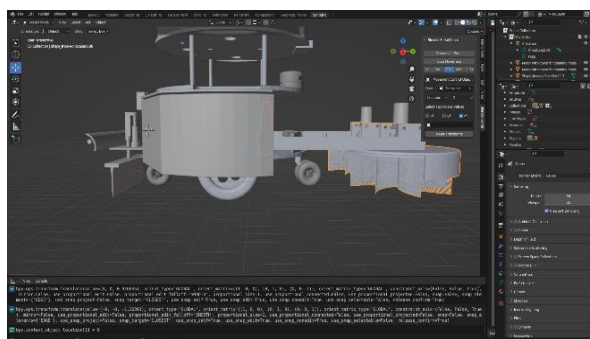
Възможните режими на работа са:

- 1- начало на почистването
- 2- UV почистване
- 3- почистване с вода
- 4- режим UV лампа

Преди започване на програмата, в съответствие с алгоритъма за почистване, рамената, на които са монтирани почистващите четки се вдигат автоматично.(фиг.121) След въвеждане на команда за почистване в терминала, те се спускат до крайно долно положение, в което е предвидено да започне ротацията на четките и почистването на база на извършен геометричен анализ в процеса на проектиране на изделието.(фиг.122)

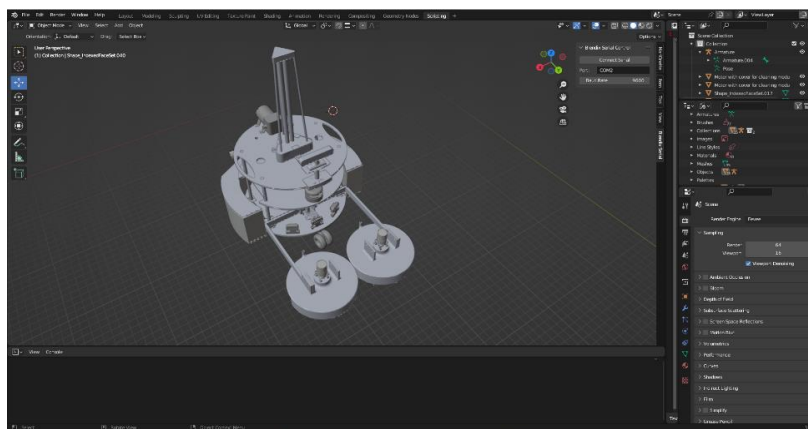


Фигура 121 Рамената с четките в повдигнато състояние

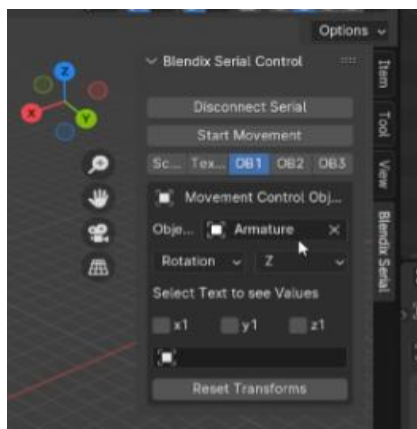


Фигура 122 Рамената и четките в спуснато положение

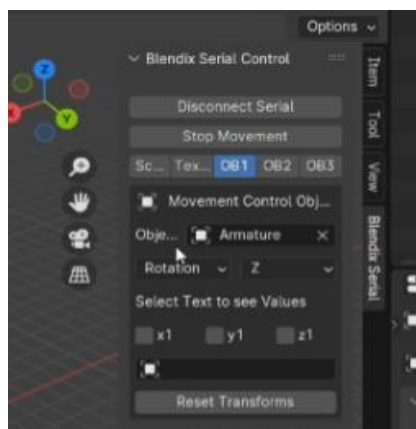
За да се визуализират промените в 3D модела на конструирания робот в падащото меню на BlendixSerial задължително трябва да сме натиснали Connect Serial и Start Movement, както и да сме посочили емулацияния порт. – (фиг.123, фиг.124, фиг.125)



Фигура 123 Избор на COM порт в средата на Blender

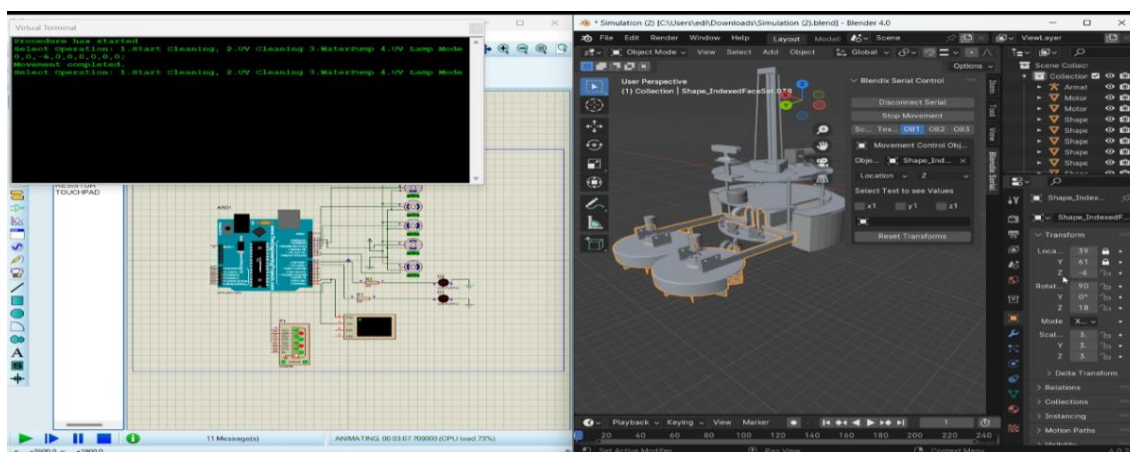


Фигура 124
BlendixSerial преди стартиране



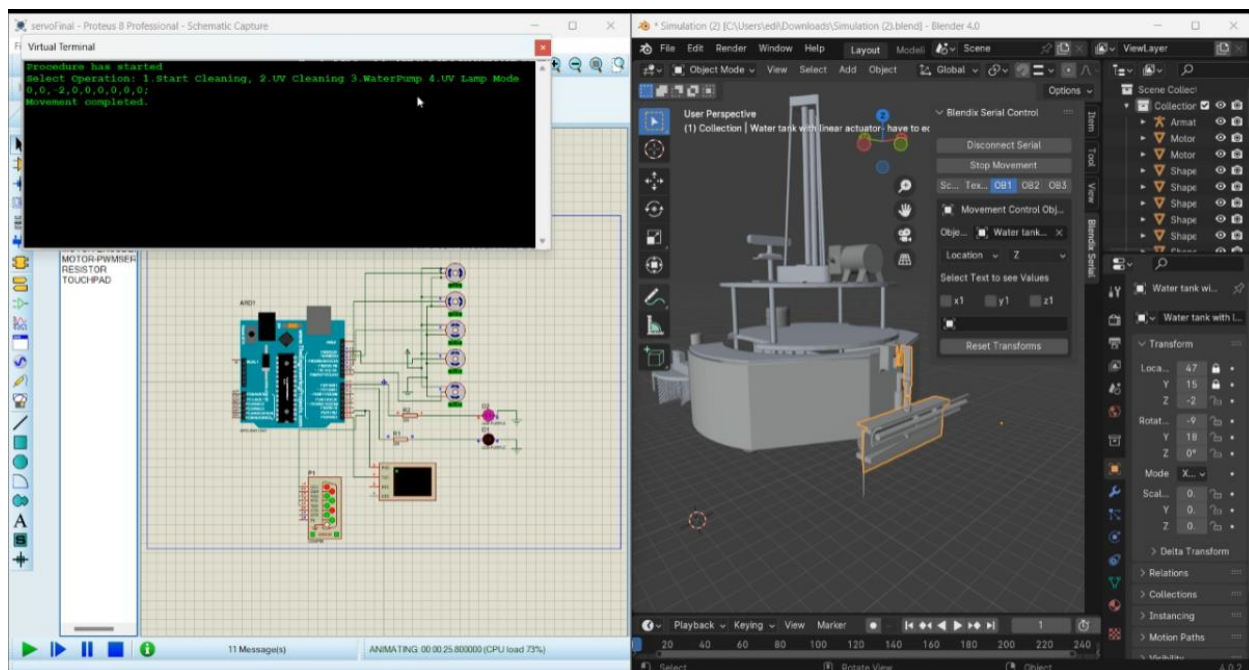
Фигура 125
BlendixSerial след стартиране

След като въведем 1 и стартираме почистването посредством предните четки, раменната конструкция се смъква и започва въртенето на четките. Терминалът визуализира преместването на рамената и изписва , че действието е успешно извършено. Преместването е визуализирано и в менюто в Blender, показващо преместването във височина. След което се очаква въвеждане на следваща команда за изпълнение. (Фиг. 126)



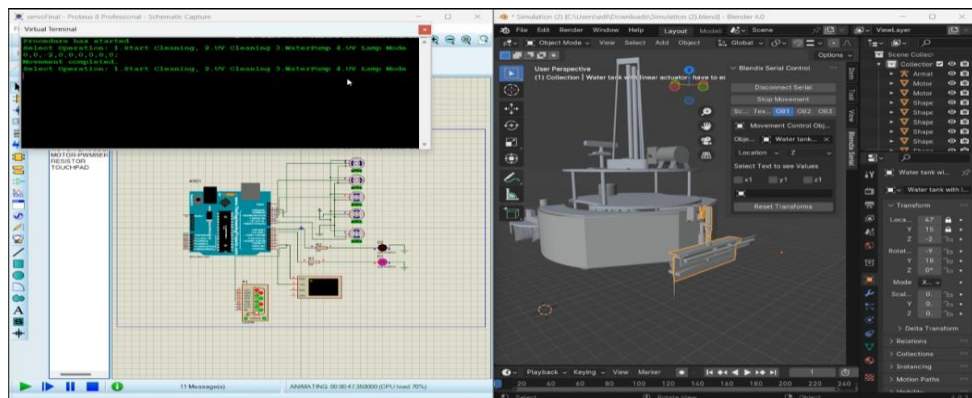
Фигура 126 Изпълненият режим в симулационната среда и очакване на следваща команда

Изображението на фигурата 127 съответства на въвеждането на режима за почистване с четката, позиционирана в задната част на робота и активираната UV лампа. В симулационната част на Proteus лампата, съответстваща на UV лампата в 3D модела се включва на база на кода, а визуализацията на изменението се осъществява с промяна на цвета.



Фигура 127 Стартване на почистване с четка и UV лампа в симулационната среда

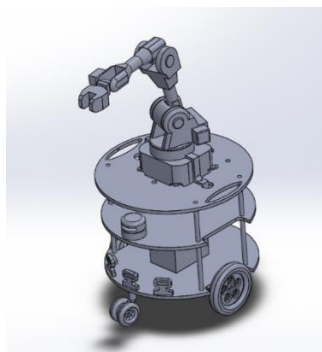
Въвеждането във виртуалния терминал на Proteus режима за почистване на околната среда посредством UV лампа се визуализира като съответстваща лампа в симулацията, монтирана на най-горната плоча в Blender 3D променя цвета си. В случая на почистването с вода се активира дадения двигател отговарящ за онагледяването на помпата в средата на Proteus.(128)



Фигура 128: Активираният режим за почистване на околната среда в симулацията

3.7 Управление на многоцелевия робот с прикрепен модул с антропоморфен робот

За операции, изискващи определено ниво на прецизност, към платформата на мобилния робот е прикрепен модул с антропоморфен робот.



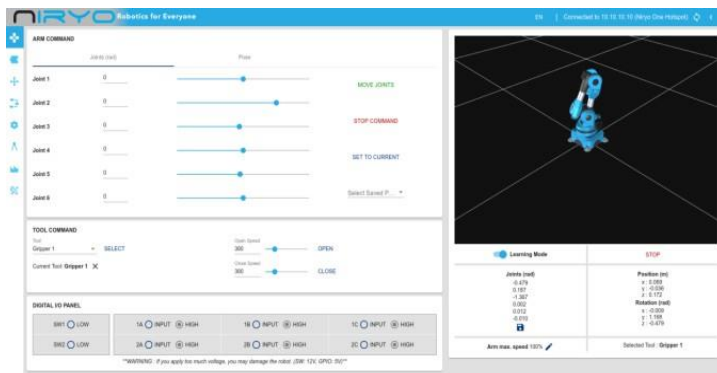
Фигура 129. Модулът с прикрепения Niryo One към мобилния робот

3.7.1 Софтуер за управление

За функционирането на антропоморфния робот се използва управляващия софтуер Niryo One Studio [94], работещ под различни операционни системи (Windows, MacOS, Linux). Софтуерът, показан на фигура 59 се използва за настройка на робота, преместване на робота, програмиране на последователност от команди и др.

а) Лявото меню на прозореца на софтуера разполага със следните панели за управление на робота:

- Нирио блокове;
- Запазени позиции;
- Запазени последователности (с възможност за автоматично стартиране);
- Настройки (Wi-Fi, Raspberry Pi, версии на софтуера);
- Калибриране;
- Състояние на хардуера; Отстраняване на грешки и регистрационни файлове.

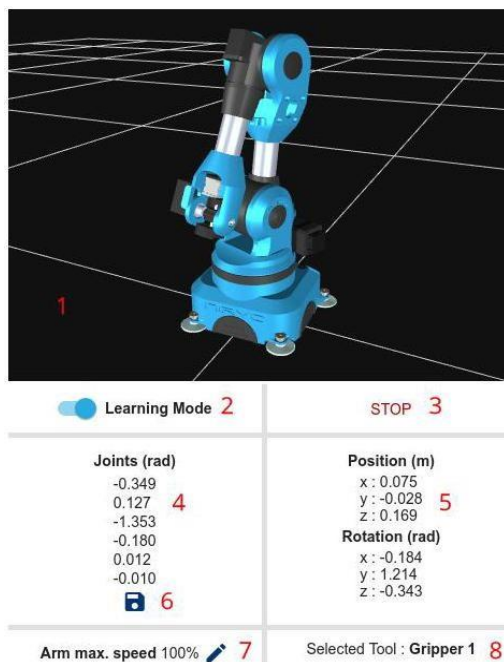


Фигура 130. Прозорец на софтуера за управление на Niryo One

б) Управление на робота

При пристъпване към управлението на робота, предварително трябва да бъде извършено

калибриране, след което посредством индикиращ LED светодиод (зелен или син) се отчита, че роботът е успешно стартиран. Софтуерът за управление на антропоморфният робот Niryo One Studio, има секция, предоставяща информация за робота и съдържа режима на обучение, показано на фигура 60.

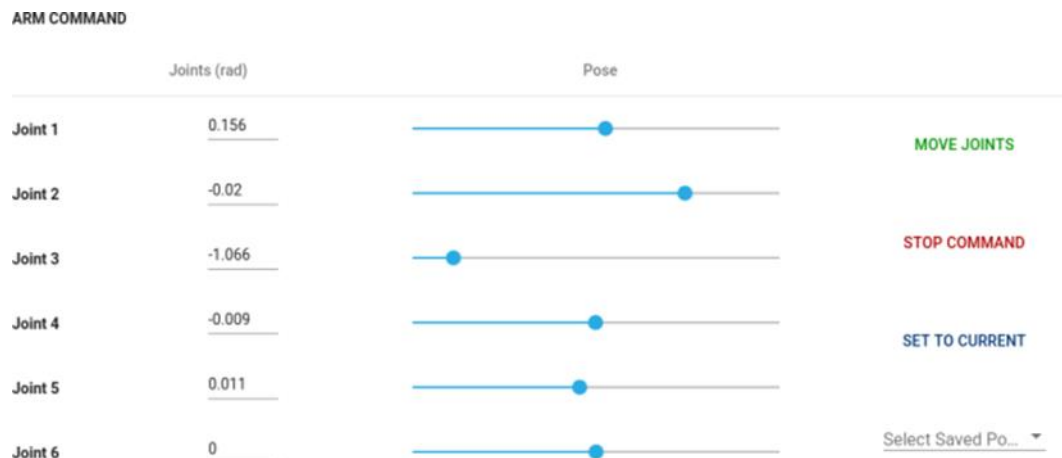


Фигура 131. Постоянна дясна секция в прозореца на софтуера

- Софтуера предоставя 3D изглед на робота. 3D изгледът помага за отчитането дали е направено правилно ръчното/автоматичното калибриране. При разлика във физическите позиции на робота и това което се вижда на екрана се налага да се направи автоматичното калибриране отново.
- При активиране на бутон „режим на обучение“ се деактивира въртящия момент на всички двигатели. Когато роботът е в „режим на обучение“, може да бъде преместван свободно. Когато режимът на обучение е изключен, всички двигатели се активират и робота не може да се движи свободно. Когато режимът на обучение е изключен, всички двигатели се активират и робота не може да се движи свободно
- По всяко време при активиране на „стоп“ бутона се спира текущата програма на робота.
- Текущо състояние на ставите (J1-J6).
- Текуща позиция и ориентация на TCP (Tool Center Point – центъра на специализирания хващач - диспенсър).
- Бутон „запазване на текущата позиция“ позволява да се запази текущата позиция, след

което може да се използва повторно по-късно.

- Текуща максимална скорост на ставата може да се промени по всяко време (0-100%).
- Текущо избран инструмент. С. Задвижване на робота В командния панел на управляващия робота софтуер има 3 раздела. В раздела „Arm command“ [94] може да се избира действие от раздела „стави“ или раздела „поза“. Разделът „стави“ позволява да се премества всяко става независимо. Разделът „поза“ позволява да се премести позицията на ТСП спрямо началните x, y, z координати на основата на робота.



Фигура 132. Arm command раздел в управляващия софтуер

За да се изпълни команда, се следва следната процедура:

- Натискане на бутона „задаване на текуща позиция“. Командата ще настрои осите, позицията и ориентацията към текущото състояние на робота. Това дава възможност за последваща промяна на стойностите от текущото състояние (напр. при желание да се премести само ос 5 или да се премести ТСП по оста и да се запази същата ориентация).
- Модифициране на стойностите на ставите или поза (позиция + ориентация).
- Натискане върху бутона „Move Joints“ или „Move Pose“, за да се изпълни командата за преместване.
- След като командата бъде изпълнена, се получава известие в долната част на екрана.
- По всяко време има опция да се отмени текущото изпълнение на командата, като се кликне върху бутона „Стоп“. Докато се изпълнява текуща команда за преместване не може да се изпълнява нова команда. При желание да се стартира нова команда, първо трябва да се спре предишната. Има възможност също да се избере позиция, която преди това е била запазена с полето за избор „избор на запазена позиция“, като така се заместват първата и

втората стъпки

Изводи към ГЛАВА 3:

-На база на проектираните универсална робот-платформа и шест отделни модула / глава 2/, в глава 3 са представени управленията на различните модули, техния начин на действие, функционалност и потенциална среда на приложение.

-Посредством описаните алгоритми и режими на работа се постига зададения многоцелеви характер на работа и търсената адаптируемост, гъвкавост и ценова съобразеност.

- Съставените и извършени комплексни симулации на различните работни режими и модули на работа верифицират съставените от докторанта алгоритми както и поведението на работа и изграждащите го софтуери и хардуери.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия дисертационен труд е представена разработка на многоцелеви теле-управляем сервизен робот, чрез който могат да бъдат осъществени обход, наблюдение, охрана и сигнализация на обекти, почистване и хигиенизиране на помещения, повдигане и пренасяне на товари, дистрибуция на лекарства, транспортиране и складиране на продукти, извършване на манипулационни операции с елементи.

Устройството на робота включва универсална мобилна платформа и шест модула, посредством които робота извършва напълно различни по естество и начин на изпълнение дейности и операции. Принципът му на работа се базира на телеуправлението.

Разработеният многоцелеви теле-управляем робот намира приложение в напълно различни работни среди – здравни заведения, търговски вериги, складови помещения, животновъдни ферми като разширява диапазона на приложение на сервизните роботи и допринася за тяхното развитие и широко разпространение. Той е част от сервизните роботи, посредством които все повече ще се подобряват условията на работа и ще се облекчава трудовата дейност на хората.

За в бъдеще научните изследвания върху представения в дисертацията сервизен робот ще бъдат продължени като за целта ще се реализира физически модел на робота и ще се верифицира в реални условия на работа.

ПРИНОСИ

- Проучени и анализирани са основни международни документи, програми и политики, свързани с глобалното развитие, в контекста на роботиката и сервизните работи в тях.
- За всеки един от режимите на работа на робота, в зависимост от използвания модул, е разработен алгоритъм на управление и е описана последователността на изпълнение на всеки един от тях.
- Обвързани са 4 софтуера - Proteus 8.16, Arduino, HHD Software's Virtual Serial Port Tools и Blender 3D за синхронизирано предаване на данни между тях.
- На базата на паралелното, съвместно и синхронизирано приложение на петте софтуера (Proteus 8.16, SolidWorks, Arduino IDE , HHD Software's Virtual Serial Port Tools и Blender 3D) са съставени и реализирани симулации, посредством които са верифицирани съставените от докторанта алгоритми на работа на робота в различните му режими.
- Разработена е мобилна роботизирана платформа с възможност за закрепване на различни по конструкция и предназначение модули.
- Разработени са шест отделни модула, с различни функции, дизайн и предназначение, посредством които роботът може да работи в разнородни среди и да извършва напълно различни по естество и начин на изпълнение дейности и операции.
- Разработено е телеуправление на многофункционална мобилна роботизирана платформа чрез уеб базиран графичен интерфейс, посредством MQTT и уеб сокети.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Н. Драганов. Сензори, 2 част. ЕКС-ПРЕС, 2016
- 2 Клаус Шваб. Четвъртата индустриална революция, Хермес, 2016
- 3 П.Стоев, Н.Шиваров, Д. Чикуртев. Дизайн на хуманоидоподобен обслужващ робот за грижа на възрастни и хора с проблеми в опорно-двигателната система - Робко 18, VIII Международна Научна конференция „Образование, Наука, Иновации“, Перник, 2018
- 4 A. Poncela, L. Gallardo-Star. Command-based voice teleoperation of a mobile robot via a human-robot interface. Robotics, 2014
- 5 Alonzo Kelly "Mobile Robotics: Mathematics, Models, and Methods". Cambridge University Press, 2013
- 6 Alan Winfield. Robotics: A Very Short Introduction. Oxford University Press, 2012
- 7 Andris Roberts, Aldis Pecka. 4G network performance analysis for real-time telemetry data transmitting to mobile agricultural robot. Latvia University of Life Sciences and Technologies, Engineering for rural development. 2018
- 8 Aswin N Raghavan, Harini Ananthapadmanaban, Manimaran S Sivamurugan, Balaraman Ravindran . Accurate Mobile Robot Localization in indoor environments using Bluetooth. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2010, p.p.4391 - 4396.
- 9 Ayan Ghosh, Daniel Alonso Paredes Soto, Sandor M Veres, Anthony Rossiter, Human Robot Interaction for Future Remote Manipulations in Industry4.0, IFAC-PapersOnLine, 2020, p.p. 10223-10228
- 10 Bin Guo, Wenfeng. Li. A Review of Smart Cities Based on the Internet of Things Concept, Journal: IEEE Access (2016)
- 11 B. De Witte, A. Tompson. Green Deal, Green New Deal and the Transformative Power of Law, Journal: European Law Journal (2020)
- 12 Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, et al. "Robotics: Modelling, Planning and Control", Springer Science & Business Media, 2008
- 13 C. D'Ortona, D. Tarchi, C. Raffaelli. Open-Source MQTT-Based End-to-End IoT System for Smart City Scenarios. Future Internet 2022

- 14 D. Labonte, F. Michaud, P. Boissy, H. Corriveau, R. Cloutier and M. A. Roux, "A Pilot Study on Teleoperated Mobile Robots in Home Environments," 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China, 2006, pp. 4466-4471
- 15 D. Chikurtev, I. Rangelov, K. Yovchev, N. Chivarov. Communication system for remote control of service robots. IFAC-PapersOnLine, 52, 25, Elsevier, 2019
- 16 D. Chikurtev, K. Yovchev. Marker-based Automatic Dataset Collection for Robotic Vision System. Mechanisms and Machine Science, 102, Springer Science and Business Media B.V., 2021
- 17 D. Chikurtev, N. Chivarov, S.Chivarov, A. Chikurteva. Mobile robot localization and navigation using LIDAR and indoor GPS. IFAC papers online, 54, 13, Elsevier, 2021
- 18 Diego Renan Bruno, Marcelo Henrique de Assis, and Fernando Santos Osório. Development of a Mobile Robot: Robotic guide dog for Aid of Visual Disabilities in urban environments. Latin American Robotics Symposium (LARS), 2019
- 19 Deok-Hwa Kim, Seung-Beom Han, Jong-Hwan Kim. "Visual odometry algorithm using an RGB-D sensor and IMU in a highly dynamic environment." In Robot Intelligence Technology and Applications 3, pp. 11-26. Springer, Cham, 2015.
- 20 Francisco Rubio, Francisco Valero, Carlos Llopi-Albert. "A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications." International Journal of Advanced Robotic Systems 16, no. 2 (2019)
- 21 F. Seyitoğlu, S. Ivanov. Service robots as a tool for physical distancing in tourism. Current issues in tourism. 2021 Jun 18;24(12):1631-4.
- 22 F. Rubio, F Valero, C. Llopi-Albert. A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications. International Journal of Advanced Robotic Systems. 2019
- 23 Gerald Cook. Mobile Robots: Navigation, Control and Remote Sensing. Wiley-IEEE Press, 2011
- 24 Gyula Mester. Applications of Mobile Robots. Conference: 7th International Conference on Food ScienceAt: Szeged, Hungary, 2006
- 25 H.-R. Kymäläinen, J. Määttä, R. Kuisma, M. Nykter, A.-M. Sjöberg. Soiling and Cleaning of Floorings in Animal Houses. ISAH- 2007, Estonia. https://www.isah-soc.org/userfiles/downloads/proceedings/Proc_ISAH_2007_Volume_I/98_Kymalainen.pdf

- 26 Harold K. House. The Use of Robotic Slat Cleaners to Clean Slatted Floor Dairy Barns. <https://library.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2012/CSBE12018>.
- 27 I. Afanasyev, M. Mazzara, S. Chakraborty, N. Zhuchkov, A. Maksatbek, A. Yesildirek, M. Kassab, S. Distefano. Towards the internet of robotic things: Analysis, architecture, components and challenges. In 2019 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE) 2019 Oct 7 (pp. 3-8). IEEE.
- 28 Ihsan A. Taha, Hamzah M. Marhoon. Implementation of controlled robot for fire detection and extinguish to closed areas based on Arduino. *Telkomnika* 16, no. 2 (2018): 654-664.
- 29 J. Liao, Z. Chen, B. Yao, "Model-Based Coordinated Control of Four-Wheel Independently Driven Skid Steer Mobile Robot with Wheel–Ground Interaction and Wheel Dynamics," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 3, pp. 1742-1752, March 2019.
- 30 J. Luo, Z. Lin, Y. Li and C. Yang, "A Teleoperation Framework for Mobile Robots Based on Shared Control," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 5, no. 2, pp. 377-384, 2020
- 31 J. Qian, B. Zi, D. Wang, Y. Ma, D. Zhang. The Design and Development of an Omni-Directional Mobile Robot Oriented to an Intelligent Manufacturing System. *Sensors*. 2017.
- 32 J. Berg, S. Lu. Review of interfaces for industrial human-robot interaction. *Current Robotics Reports*. 2020.
- 33 J. Jankowski, A. Grabowski. Usability Evaluation of VR Interface for Mobile Robot Teleoperation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2015, p.p.882–889.
- 34 K. Shabalina, A. Sagitov and E. Magid, "Comparative Analysis of Mobile Robot Wheels Design," 2018 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), Cambridge, United Kingdom, 2018, pp. 175-179
- 35 K. Krinkin, E. Stotskaya and Y. Stotskiy, "Design and implementation Raspberry Pi-based omni-wheel mobile robot," 2015 Artificial Intelligence and Natural Language and Information Extraction, Social Media and Web Search FRUCT Conference (AINL-ISMW FRUCT), St. Petersburg, 2015, pp. 39-45
- 36 K. Nagatani et al., "Redesign of rescue mobile robot Quince". IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics, Kyoto, Japan, 2011, pp. 13-18
- 37 Kei Sawai , Satoshi Aoyama, Tatsuo Motoyoshi, Toru Oshima, Ken'ichi Koyanagi. A Mobile Robot Teleoperation System with a Wireless Communication Infrastructure using a Leaky Coaxial

Cable based on TCP/IP. International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA), Volume 10, Issue 7, 2019.

38 Kumar Ranjith. MQTT Over Websockets: The Ultimate guide to MQTT's Unique Feature", DSM, Apr 21, 2022, (<https://www.bevywise.com/blog/mqtt-over-websockets/>)

39 Michael W. Hansen, Duncan Liefferink "The European Green Deal: Challenges and Opportunities" Journal: Environmental Politics (2021)

40 Mingyue Cui, Wei Liu, Hongzhao Liu, Hualong Jiang, Zhipeng Wang. Extended state observer-based adaptive sliding mode control of differential-driving mobile robot with uncertainties. Nonlinear Dynamics 83, no. 1-2 (2016): 667-683.

41 Mikhail Polishchuk, , Mark Opashnianskyi, Nikita Suyazov. "Walking mobile robot of arbitrary orientation." International Journal of Engineering and Manufacturing 8, no. 3 (2018): 1.

42 Maciej Trojnacki, Przemysław Dąbek. Mechanical Properties of Modern Wheeled Mobile Robots. Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems. 13. 3-13. (2019).

43 M. Xie, K. Hisano, M. Zhu, T. Toyoshi, M. Pan, S. Okada, O. Tsutsumi, S. Kawamura, C.Bowen. Flexible multifunctional sensors for wearable and robotic applications. Advanced Materials Technologies. 2019 Mar;4(3)

44 M.Moniruzzaman, A. Rassau, D. Chai, S. Islam. Teleoperation methods and enhancement techniques for mobile robots: A comprehensive survey. Robotics and Autonomous Systems. 2022

45 M. Mukhandi, D. Portugal, S. Pereira, MS Couceiro. A novel solution for securing robot communications based on the MQTT protocol and ROS. In2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) 2019 Jan 14 (pp. 608-613). IEEE.

46 MD Moniruzzaman, Alexander Rassau, Douglas Chai, Syed Mohammed Shamsul Islam, Teleoperation methods and enhancement techniques for mobile robots: A comprehensive survey, Robotics and Autonomous Systems, Volume 150, 2022

47 Nikolaus Correll, Bradley Hayes, Christopher Heckman, Alessandro Roncone. "Introduction to Autonomous Robots: Mechanisms, Sensors, Actuators, and Algorithms"MIT Press, 2022

48 Neerendra Kumar, Zoltán Vámosy, Zsolt Miklós Szabó-Resch. "Robot obstacle avoidance using bumper event." In 2016 IEEE 11th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), pp. 485-490. IEEE, 2016.

- 49 N. Chivarov, D. Chikurtev, I. Rangelov, A. Gigov and N. Shivarov. Educational Mobile Robot Platform for Line Following, 6th International Scientific Conference” Education, Science, Innovations”, Pernik, Bulgaria, p.p. 290 – 298, 2016
- 50 N. Chivarov, D. Chikurtev, N. Shivarov, K. Yovchev, I. Rangelov, A. Gigov, M. Konstantinov, M. Marinov, V. Lazarov, E. Markov. Telecontrolled Service Robot For Increasing The Quality Of Life Of Elderly And Disabled, ADP 2017, June, Sozopol, Bulgaria; p.p. 171- 175
- 51 N. Chivarov, D. Chikurtev, I. Rangelov, A. Gigov, N. Shivarov. Sensor System For Identification Of Obstacles For Service Mobile Robots, - Proceedings of the Technical University of Sofia, Volume 67, Issue 2, 2017, p.p. 71-80
- 52 N. Tahir, R. Parasuraman. Analog Twin Framework for Human and AI Supervisory Control and Teleoperation of Robots. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. 2022 Nov 3.
- 53 Peter Ebertz, Manuel S. Krommweh, Wolfgang Büscher. 2019. "Feasibility Study: Improving Floor Cleanliness by Using a Robot Scraper in Group-Housed Pregnant Sows and Their Reactions on the New Device" Animals 9, no. 4: 185. <https://doi.org/10.3390/ani9040185>
- 54 P. Gupta and I. O. P. M, "A Survey of Application Layer Protocols for Internet of Things," 2021 International Conference on Communication information and Computing Technology (ICCICT), Mumbai, India, 2021, pp. 1-6
- 55 S. Khan and J. Lee, "Tele-operation of a mobile robot using a force reflection joystick with a single Hall sensor," Proc. of RO-MAN, 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 206–211, 2007.
- 56 S. Opiyo, J. Zhou, E. Mwangi, W. Kai, I. Sunusi. A review on teleoperation of mobile ground robots: Architecture and situation awareness. International Journal of Control, Automation and Systems. 2021 Mar;19 :1384-407.
- 57 S. Soyguder, T. Abut. Haptic industrial robot control with variable time delayed bilateral teleoperation. Industrial Robot: An International Journal, 2016, p. p.390–402.
- 58 Seung Keun Cho, Hong Zhe Jin, Jang Myung Lee, & Bin Yao. Teleoperation of a Mobile Robot Using a Force-Reflection Joystick With Sensing Mechanism of Rotating Magnetic Field. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2010

- 59 Stefan Sagkob, Josef Niedermeier, Heinz Bernhardt. Comparison of a Mobile Scraping System with a Fixed One for Removal of Liquid Manure. : <https://www.landtechnik-online.eu/landtechnik/article/view/2011-66-4-238-242/2011-66-4-238-242-en-pdf>
- 60 T.B. Tuli, T.O. Terefe, & Rashid, M.M.U. Telepresence Mobile Robots Design and Control for Social Interaction. *Int J of Soc Robotics* 13, 2021, 877–886
- 61 Taro Suzuki, Mitsunori Kitamura, Yoshiharu Amano, and Nobuaki Kubo. Autonomous Navigation of a Mobile Robot Based on GNSS/DR.Integration in Outdoor Environments. *Journal of Robotics and Mechatronics*.2014
- 62 Theresa Leinweber, Michael Zähler, Sabine Schrade. Evaluation of a dung-removal robot for use in dairy housing from an ethological and process-engineering point of view.
- 63 V. Alakshendra, S. S. Chiddarwar. A robust adaptive control of mecanum wheel mobile robot: simulation and experimental validation, 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Daejeon, 2016, pp. 5606-5611
- 64 V. Pimentel, B. G. Nickerson. Communicating and Displaying Real-Time Data with WebSocket, in *IEEE Internet Computing*, vol. 16, no. 4, pp. 45-53, July-Aug. 2012
- 65 V. Nandikolla, B. Ghoslin, K. Matsuno, Medina Portilla. A Brain-Computer Interface for Teleoperation of a Semiautonomous Mobile Robotic Assistive System Using SLAM. *Journal of Robotics*, 2022
- 66 Wafa Alsakar, Aisha Ali. Smart Sustainable Cities of the Future: An Extensive Interdisciplinary Bibliographic Review, *Journal: Sustainability* (2018) Link: MDPI
- 67 Y. Che, H. Culbertson, C. W. Tang, S. Aich, A. M. Okamura. Facilitating Human.Mobile Robot Communication via Haptic Feedback and Gesture Teleoperation. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 2018
- 68 Yi Cheng, Gong Ye Wang. Mobile robot navigation based on lidar. In 2018 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), pp. 1243-1246. IEEE, 2018.
- 69 Y. Choi, M. Choi, M. Oh, S. Kim. Service robots in hotels: understanding the service quality perceptions of human-robot interaction. *Journal of Hospitality Marketing & Management*. 2020 Aug 17;29(6):613-35.
- 70 Z. Kapić, A. Crnkić, E. Mujčić, J. Hamzabegović. A web application for remote control of ROS robot based on WebSocket protocol and Django development environment. *InIOP*

Conference Series: Materials Science and Engineering 2021 Nov 1 (Vol. 1208, No. 1, p. 012035). IOP Publishing.

71 Zhiguo Chen, Wenbo Xu. Wireless Communication Application in Mobile Robot with Machine Vision. WiCom '09. 5th International Conference on. 2009

72 <https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4>

73 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age_en

74 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2021>

75 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/2030-digital-compass>

76 https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en

77 <https://www.obekti.bg/chovek/psihologiya-na-cvetovete>

78 <http://web.mit.edu/zoz/Public/libin%20-%20pri.pdf>

79 <https://www.aaai.org/Papers/Symposia/Fall/2005/FS-05-02/FS05-02-011.pdf>

80 <https://arxiv.org/pdf/1704.03931.pdf>

81 <https://www.aliexpress.com/item/32813245169.html?spm=2114.1201>

0612.8148356.6.56a9fee63LCph6

82 STADY project: <https://cordis.europa.eu/article/id/386846-when-it-comes-to-cleaning-stables-let-the-robot-do-the-dirty-work>

83 <https://www.generationrobots.com/blog/en/robotised-cowshed-cleaning/> ROBOTISED COWSHED CLEANING

84 Technical documents – Lely

85 Cleaning farm robot - ProCleaner X100 - WASHPOWER - autonomous / pig barn

86 Self-learning, mobile cleaning robot ensures absolute cleanliness in production line - Inceptive Mind

87 <https://vikiwat.com/elektrodivigatel-postoyannotokov-s-reduktor-12vdc-150rpm-2w-vfga37fg-32i-a601.html>

88 12V Linear Actuator With Bracket Aluminum Alloy Small Electric Push Rod Mini Linear Motor|DC Motor|

- 89 Durable DC 12V 130PSI Agricultural Electric Water Pump Black Micro High Pressure Diaphragm Water Sprayer Car Wash 12 V|Pumps|
- 90 12v Small Acuator Motor Stroke Length 30mm/50mm/100mm/150mm Load Capacity 150n Mirco Electric Linear Servos - Dc Motor
- 91 Tzt Load Cell 1kg 5kg 10kg 20kg Hx711 Ad Module Weight Sensor Electronic Scale Aluminum Alloy Weighing Pressure Sensor - Sensors
- 92 <https://niryo.com/docs/niryo-one/user-manual/mechanical-specifications>
- 93 <https://www.handsontec.com/dataspecs/module/BTS7960%20Motor%20Driver.pdf>
- 94 <https://niryo.com/docs/niryo-one/user-manual/complete-user-manual>

Декларация за оригиналност

Декларирам, че дисертацията съдържа оригинални резултати, получени, при проведени от мен, научни изследвания с подкрепата и съдействието на научния ми ръководител.

Резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са коректно и подробно цитирани в библиографията.

Настоящият дисертационен труд не е прилаган за придобиване на научна степен в друго висше училище, университет или научен институт.

Подпис:

/маг.инж. Петко Стоев/

Публикации по дисертационната тема

На международни конференции в чужбина:

Stoev, P., Chikurtev, D., Stefanov, T., Dimitrov, D. & Vitanova, D. **(2023)**. Remote Control of a Teleoperated Multi-Purpose Mobile Robot Platform Using a Web-Based Graphical Interface, via MQTT and Web Sockets. The 3rd International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME) 2023

Stoev, P. , Yovchev S., Chikurtev, D., Chivarov, N. Development of a Teleoperated Mobile Robot with Module for Cleaning Animal Husbandry Complexes. TechSys **2022** , Accepted for publishing

Nayden Chivarov, Denis Chikurtev, Petko Stoev, Vasil Lozanov, Stefan Chivarov. ROBCO Drone - Service Robot for Transport and Delivery of Grocery Products, 7th International Conference on Engineering and Emerging Technologies **2021** – ISTANBUL – TURKEY

На международни конференции у нас:

Stoev, P. Development of a Lifting Module of a Mobile Robot for Warehouses. ADP **2022**, Pages 259-261, ISSN: 2682-9584

Васил Лозанов, Найден Шиваров, Денис Чикуртев, Стефан Шиваров, Петко Стоев. Индустриален дизайн на сервизен складов робот „РОБКО“, Годишна международна научна конференция на ВВВУ "Георги Бенковски" **2021**

Цитати:

Nayden Chivarov, Denis Chikurtev, Petko Stoev, Vasil Lozanov, Stefan Chivarov. ROBCO Drone - Service Robot for Transport and Delivery of Grocery Products, 7th International Conference on Engineering and Emerging Technologies **2021** – ISTANBUL – TURKEY