

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
 Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
 Тип програми Освітньо-професійна
 Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТУ

здобувачеві Шматко Сергію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматичного керування робота телеприсутності
- Затверджено наказом по університету від 22.11.2024 №1231 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 13.01.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи
- 3.1 Інтерфейс підключення дисплею на базі технологій I2C;
- 3.2 Мова програмування Python;
- 3.3 Тип клієнт-серверної архітектури – з елементами телеприсутності;
- 3.4 Системи керування на базі мікроконтролерного модуля;
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
- 4.1 Вступ;
- 4.2 Аналіз сучасних систем керування робота телеприсутності;
- 4.3 Розробка макету робота телеприсутності;
- 4.4 Розробка системи керування;
- 4.5 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 12 стор. Формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел та аналогічних існуючих продуктів	02.09.2024 – 01.10.2024	виконано
2	Вибір апаратних модулів	01.10.2024 – 18.10.2024	виконано
3	Розробка макету робота телеприсутності	18.10.2024 – 05.11.2024	виконано
4	Розробка схеми підключення	05.11.2024 – 07.11.2024	виконано
5	Розробка загального алгоритму роботи та системи керування	07.11.2024 – 22.11.2024	виконано
6	Написання програми керування	22.11.2024 – 01.12.2024	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2024 – 12.01.2025	виконано
8	Подання роботи у ЕК	13.01.2025	виконано

Дата видачі завдання _____ 02.09.2024 _____

Здобувач _____ Шматко С.В. _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. каф. КІТАР Євсєєв В.В. _____

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

« 10» грудня 2024 р.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Шматко' with a long horizontal stroke extending to the right.

Шматко С.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 90 с., 7 табл., 19 рис., 2 дод., 22 джерел.

РОБОТ ТЕЛЕПРИСУТНОСТІ, І2С, АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, МОВА ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON

Об'єкт дослідження – процес керування роботом телеприсутності.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та програмне забезпечення автоматизованої системи керування роботом телеприсутності.

Мета роботи – підвищення ефективності обробки поточної інформації оператором виробництва за рахунок розробки системи керування та макету робота телеприсутності.

Методи дослідження – методи об'єктно-орієнтованого програмування, теорія алгоритмів, теорія автоматичного курування, теорія схемотехніки.

В процесі написання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз існуючих на даний момент екземплярів роботів телеприсутності, які можуть бути задіяними в комп'ютерно-інтегрованому виробництві, їх функції, конструкції, системи комунікації між користувачем та роботом і системи керування. На основі отриманої інформації було розроблено структурну схему та схему електричну принципову, проведено аналіз та вибір апаратних модулів. Як результат було зібрано прототип робота телеприсутності для комп'ютерно інтегрованого виробництва. Розроблено загальний алгоритм роботи маніпулятора та алгоритм керування серводвигунами. Було передбачено заходи з охороно праці в приміщенні лабораторії. Як результат виконаної роботи написано програму керування зібраним роботом телеприсутності і проведено експериментальне дослідження.

Також, отримані результати роботи можна віднести до цілей сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме до п.9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньовисокотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей».

ABSTRACT

Explanatory note: 90 p., 7 tables, 19 figures, 2 appendix, 22 sources.

TELEPRESENCE ROBOT, I2C, CONTROL ALGORITHM, CONTROL SYSTEM, MICROCONTROLLER, PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

The object of research is the process of controlling a telepresence robot.

The subject of research is methods, algorithms and software of an automated control system for a telepresence robot.

The purpose of the work is to increase the efficiency of processing current information by the production operator by developing a control system and a layout of a telepresence robot.

Research methods are object-oriented programming methods, algorithm theory, automatic supervision theory, circuit theory.

In the process of writing the qualification work, an analysis was conducted of currently existing instances of telepresence robots that can be used in computer-integrated production, their functions, designs, communication systems between the user and the robot, and control systems. Based on the information received, a structural diagram and an electrical schematic diagram were developed, and hardware modules were analyzed and selected. As a result, a prototype of a telepresence robot for computer-integrated production was assembled. A general algorithm for the operation of the manipulator and an algorithm for controlling servo motors were developed. Occupational safety measures were provided in the laboratory premises. As a result of

the work performed, a control program for the assembled telepresence robot was written and an experimental study was conducted.

Also, the results of the work can be attributed to the Sustainable Development Goals 9 “Industry, Innovation and Infrastructure”, namely to item 9.4 “Promote the accelerated development of high- and medium-high-tech sectors of the processing industry, which are formed on the basis of the use of the “education - science - production” chains and a cluster approach in the following areas: development of an innovation ecosystem; development of information and telecommunications technologies (ICT); application of ICT in agriculture, energy, transport and industry; high-tech mechanical engineering; creation of new materials; development of the pharmaceutical and bioengineering industries”.

ЗМІСТ

Вступ.....	12
1 Аналіз існуючих роботів телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованих виробництв.....	14
1.1 Аналіз існуючих роботів телеприсутності для комп'ютерних-інтегрованих виробництв.....	14
1.2 Аналіз функцій робота телеприсутності.....	19
1.3 Аналіз систем керування роботів телеприсутності	24
1.4 Аналіз методів комунікації з роботом телеприсутності	28
1.5 Постановка задачі дослідження.....	32
1.6 Висновки до розділу 1	32
2 Розробка макету робота телеприсутності.....	34
2.1 Розробка структурної схеми.....	34
2.2 Аналіз та вибір апаратних модулів.....	36
2.3 Розробка схеми підключення	48
2.4 Розрахунки передаточної функції серводвигуна для mg996r.....	50
2.5 Збірка макету робота телеприсутності.....	54
2.6 Висновки до розділу 2	57
3 Розробка системи керування роботом телеприсутності	58
3.1 Аналіз середовища розробки	58
3.2 Розробка загального алгоритму роботи робота телеприсутності	59
3.3 Розробка алгоритму програми керування серводвигунами.....	63
3.4 Розробка програми взаємодії з гугл сервером	66
3.5 Експериментальне дослідження та аналіз отриманих результатів	67
3.6 Розрахунки освітлення у лабораторії	70
3.7 Висновки до розділу 3	72
Висновки	73
Перелік джерел посилання	75
Додаток а.....	78
Додаток б.....	90

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДБН – Державним будівельним нормам;
ДПС – двигун постійного струму;
ЕРС – електро-рушійна сила;
ІКТ – інформаційнотелекомунікаційних технологій;
ПК – персональний комп'ютер;
РБ – робот телеприсутності;
ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;
АС – aluminum case;
API – application programming interface;
BL – backlight;
CLK – Clock;
CS – chip select;
DC – data/command;
DIN – data in;
DM – display module;
ECS – Engine Control System;
GPIO – general-purpose input/output;
LCD – liquid-crystal display;
MB – main board;
OS – operating system;
PS – power system;
RPI – raspberry pi;
RST – Reset;
RTOS – Real Time operating System;

S – servomotors;

SSH – secure shell;

TR – telepresence robot;

UART – Universal asynchronous receiver/transmitter.

ВСТУП

Сучасний світ характеризується швидким розвитком технологій та зростанням вимог до автоматизації процесів. Одним з таких процесів є отримання і обробка інформації на виробництві. Роботи телеприсутності для комп'ютерно інтегрованих виробництв, переживають зараз справжній розквіт, і це не випадково. Ця технологія, яка дозволяє оператору виробництва легко отримувати бажану інформацію та обробляти її за допомогою робота, набуває все більшої популярності.

Фірми все частіше працюють на глобальному ринку, що потребує більш гнучких способів співпраці. Роботи телеприсутності дозволяють учасникам зустрічей бути присутніми незалежно від їхнього фізичного розташування, а розвиток мережевих технологій забезпечує стабільне з'єднання, необхідне для якісної роботи роботів телеприсутності.

Також, використання роботів дозволяє знизити витрати на відрядження, оренду офісних приміщень та проживання. Роботи телеприсутності можуть працювати цілодобово, що дозволяє збільшити продуктивність та ефективність роботи. Ринок роботів телеприсутності постійно розширюється, що призводить до зниження вартості пристроїв та збільшення їх доступності. Таким чином, роботи телеприсутності стають все більш актуальними для комп'ютерно-інтегрованих виробництв, завдяки їх здатності вирішувати широкий спектр задач, від покращення комунікації в розподілених командах до забезпечення безперервної роботи в умовах обмежень на пересування.

Виходячи з проаналізованої інформації, можна безумовно стверджувати, що тема даної кваліфікаційної роботи є актуальною.

Об'єкт дослідження – процес керування роботом телеприсутності.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та програмне забезпечення автоматизованої системи керування роботом телеприсутності.

Мета роботи – підвищення ефективності обробки поточної інформації оператором виробництва за рахунок розробки системи керування та макету робота телеприсутності.

Методи дослідження – методи об'єктно-орієнтованого програмування, теорія алгоритмів, теорія автоматичного курування, теорія схемотехніки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасних роботів телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованого виробництва;
- проаналізувати функції, системи керування та методики комунікації з роботом телеприсутності;
- виконати аналіз та вибір апаратних модулів;
- виконати збірку макету робота телеприсутності;
- розробити передаточної функції для серводвигуна;
- розробити загальний алгоритм роботи робота телеприсутності та алгоритм роботи системи керування серводвигунами;
- провести експеримент;
- оформити пояснювальну записку згідно ДСТУ 3008:2015 [1] та кваліфікаційну роботу керуючись методичними вказівками.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РОБОТІВ ТЕЛЕПРИСУТНОСТІ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ

1.1 Аналіз існуючих роботів телеприсутності для комп'ютерних-інтегрованих виробництв

У зв'язку з швидкими темпами розвитку технологій до сучасного рівня та глобалізацією, перед людством постає проблема у вигляді необхідності обробки великої кількості даних на великих дистанціях за маленький термін. При цьому кількість необхідної інформації для запам'ятовування та обробки з кожним роком стрімко зростає, що передбачає погіршення здатності вільно працювати з нею. Це зумовлює швидкий розвиток розумних роботів та поширення їх експлуатації [2].

Робот – автоматичний пристрій, що призначений для виконання виробничих та інших операцій, які зазвичай виконувались безпосередньо людиною. Для опису автоматичних пристроїв дія яких не має зовнішньої схожості з діями людини, переважно використовується термін «автомат» [3].

Роботи телеприсутності (РБ) для комп'ютерно-інтегрованих виробництв, переживають значне зростання популярності, пропонуючи нові способи взаємодії та комунікації на відстані. Ці роботи дозволяють користувачам бути присутніми віртуально в іншому місці, керувати роботом та взаємодіяти з оточуючими за допомогою аудіо- та відеозв'язку. На ринку існує безліч роботів телеприсутності, кожен з яких має свої унікальні особливості та можливості. Деякі з найпопулярніших моделей наведені нижче:

– double robotics double 3 – цей робот досить простий у використанні і за доступною ціною. Стійка основа на двох колесах з регульованою висотою дозволяє дуже легко переміщатися і робить спілкування користувача з

оточуючими людьми комфортним. Це робот телеприсутності для віддаленої присутності та взаємодії у фізичному просторі. Найважливішою відмінністю від його попередників, ймовірно, є те, що він може рухатися сам по собі, дозволяючи користувачеві «телепортуватися» в будь-яку точку кімнати, не турбуючись про його ручне керування (рис. 1.1) [4];

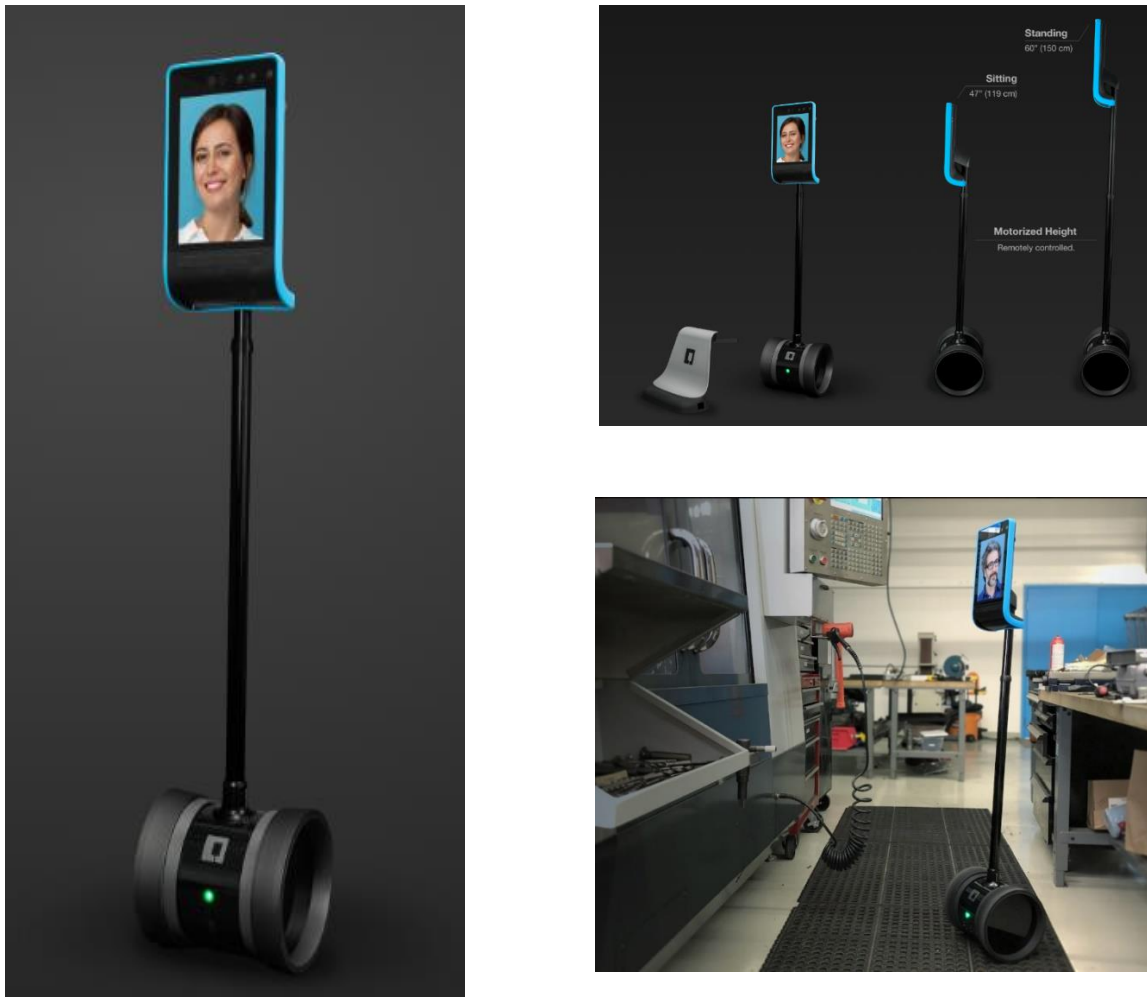


Рисунок 1.1 – Зображення double robotics double 3

– ohmnilabs ohmni має компактний дизайн та вбудовану камеру з високою роздільною здатністю. Він також пропонує функцію автономної навігації, що дозволяє користувачам легко переміщатися по приміщеннях. Це універсальний та доступний робот телеприсутності, який пропонує широкий

спектр можливостей для віддаленої взаємодії та комунікації. Його простота використання, висока мобільність та якісний аудіо- та відеозв'язок роблять його привабливим варіантом для різних сфер застосування (рис. 1.2) [5];



Рисунок 1.2 – Зображення ohmnilabs ohmni

– *ava robotics ava* – робот призначений для використання в корпоративному середовищі. Він має великий дисплей та вбудовані датчики, що дозволяють йому самостійно переміщатися по офісу та взаємодіяти з колегами (рис. 1.3, а) [6];

– *suitable technologies beam* – це робот має високу якість відео та аудіо, що забезпечує природну взаємодію з оточуючими. Він також має функцію віддаленого керування, що дозволяє користувачам легко налаштовувати його параметри (рис. 1.3, б) [7];

– *vesna robotics qc bot*, призначений для використання в медичних закладах. Він має функцію автономної навігації та вбудовані датчики, що дозволяють йому безпечно переміщатися по лікарні та взаємодіяти з пацієнтами та персоналом. QC Bot призначений для транспортування матеріалів та обладнання в лікарнях та інших медичних закладах, допомагаючи персоналу оптимізувати

робочі процеси та підвищити ефективність. Його зображення наведено на рисунку 1.3, в [8].



a)



б)



в)

a) ava robotics ava

б) suitable technologies beam

в) vesna robotics qc bot

Рисунок 1.3 – Зображення роботів

Роботи телеприсутності створюють абсолютно нові можливості для віддаленої взаємодії та спілкування. Ця технологія вже поширюється на багато сфер і дійсно може змінити те, як ми будемо працювати та навчатися у майбутньому, а також спілкуватися. Згодом ми, безперечно, можемо очікувати ще більше інноваційних роботів телеприсутності, краще адаптованих і функціональних, які можуть справді змінити світ кількома важливими та корисними способами.

Роботи телеприсутності мають ряд переваг, які роблять їх привабливими для застосування в різних сферах. Основними перевагами є:

- роботи телеприсутності дозволяють користувачам віртуально перебувати в іншому місці, що робить спілкування та співпрацю у віддалених командах та між ними набагато ефективнішими. Це сильно впливає на покращення спілкування та співпрацю;

- роботи дозволяють людям з обмеженими можливостями або тим, хто перебуває у віддалених районах, виконувати певну діяльність або взаємодіяти з іншими. Як результат збільшена доступність;

- суттєве зниження витрат на поїздки – є майже найважливішим фактором. Роботи телеприсутності можуть допомогти зменшити витрати на відрядження, дозволяючи користувачам бути присутніми на зустрічах та конференціях віртуально;

- не менш важливим показником є підвищення продуктивності. Ці роботи можуть допомогти підвищити продуктивність, дозволяючи користувачам швидко та ефективно вирішувати проблеми та завдання на відстані.

Також, роботи телеприсутності знаходять застосування в різних сферах, включаючи освіту, охорону здоров'я, бізнес та, навіть, роздрібну торгівлю. Трохи докладніше про кожну сферу:

- вчителі можуть за допомогою таких пристроїв дистанційно проводити уроки з дітьми та спілкуватися з учнями, навіть якщо їх фізично немає в класі;
- також для підтримки дистанційних консультацій і перевірки стану пацієнтів у віддалених районах, лікарі зможуть використовувати роботів телеприсутності;
- компанії будуть використовувати цих роботів для проведення своїх віртуальних зустрічей та співбесід, а також забезпечуватимуть віддалену присутність своїх співробітників для різних потреб;
- що стосується сфери роздрібної торгівлі, то у цій сфері роботи телеприсутності знайдуть застосування для надання дистанційної допомоги клієнтам і демонстрації продуктів.

Очікується, що в найближчі роки ринок роботів телеприсутності зростатиме, завдяки високоякісному штучному інтелекту та технології 5G, що заохочуватиме все розумніших і здібніших роботів.

1.2 Аналіз функцій робота телеприсутності

Роботи телеприсутності стають дедалі важливішими у багатьох галузях, таких як охорона здоров'я, освіта, корпоративний сектор і виробництво. Вони дозволяють віддалено керувати пересуванням, вести відеоконференції та взаємодіяти з навколишнім середовищем. Однак кожен з таких роботів має свої унікальні особливості, які роблять його більш ефективним у певних сферах застосування. Для аналізу функцій робота телеприсутності я використаю наведені вище приклади таких роботів.

Мобільність та навігація є одними з ключових функцій роботів телеприсутності, що дозволяє їм переміщатися у фізичному просторі та забезпечувати віддалену присутність користувача. Різні моделі роботів

пропонують різні рівні мобільності, від простих колісних платформ до складних систем з автономною навігацією.

Колісні платформи – це найпоширеніший тип мобільності, який забезпечує базові можливості пересування. Користувач може керувати роботом за допомогою пульта дистанційного керування або через інтерфейс на комп'ютері чи мобільному пристрої. Прикладами слугують: double robotics double 3, ohmnilabs ohmni, suitable technologies beam. Простота використання, маневреність та доступність є основними перевагами у такому випадку. З недоліків можна відокремити обмежену прохідність та залежність від рівної поверхні, саме через це основними сферами застосування є офіси, школи, музеї і виставки.

Деякі роботи телеприсутності оснащені спеціальними механізмами, що дозволяють їм долати сходи та інші нерівності, що робить їх більш універсальними у використанні. А така функція як «Автономна навігація» дозволяє роботу самостійно переміщатися по приміщенню, уникаючи перешкод та будуючи карту оточення. Це значно спрощує використання робота та розширює його можливості.

Наступним за важливістю є функціонал аудіо- та відеозв'язку. Якісний аудіо- та відеозв'язок є невід'ємною частиною будь-якого робота телеприсутності. Він забезпечує ефективну комунікацію та взаємодію між віддаленим користувачем та людьми, що знаходяться у фізичному просторі. Більшість роботів оснащені камерами високої роздільної здатності та мікрофонами з шумопоглинанням, що забезпечує чітке зображення та звук. Усі розглянуті моделі мають вбудовані камери та мікрофони. З переваг можна виділити забезпечення якісного зв'язку, можливість візуального контакту, підвищення залученості учасників, а з недоліків залежність від якості інтернет-з'єднання, можливі проблеми з конфіденційністю. Даний функціонал слугує для відеоконференції, дистанційного навчання, телемедицини. Важливим доповненням є можливість регулювання кута нахилу та масштабування камери, що дозволяє користувачеві

отримувати найкращий огляд оточення, а якісні динаміки забезпечують чіткий та гучний звук, що дозволяє користувачеві чути все, що відбувається навколо робота.

Аудіо- та відеозв'язок є критичним для багатьох застосувань роботів телеприсутності. У телемедицині він дозволяє лікарям проводити дистанційні консультації та огляди пацієнтів, а також брати участь у операціях віддалено. У освіті якісний зв'язок забезпечує ефективну взаємодію між викладачами та студентами, що знаходяться в різних місцях. У бізнесі він дозволяє проводити віртуальні зустрічі та переговори з високим рівнем залученості учасників.

Інтерактивність та керування є важливими аспектами функціональності роботів телеприсутності, що визначають зручність та ефективність їх використання. Інтуїтивно зрозумілий та зручний інтерфейс користувача дозволяє легко керувати роботом та отримувати доступ до його функцій.

Можливість керувати роботом з будь-якого місця за допомогою комп'ютера, планшета або смартфона забезпечує гнучкість та зручність використання.

Трохи детальніше про функціонал саме представлених роботів. Double robotics double 3 – це робот телеприсутності, відомий своєю мобільністю та інтегрованою камерою високої роздільної здатності. Основні функції:

- робот оснащений двома колесами, що забезпечують стабільний рух і маневреність навіть на складних поверхнях;
- вбудовані 4К камери з широким кутом огляду та дисплей, який може використовуватися для відображення зображення оператора;
- завдяки системі сенсорів, робот може автоматично уникати перешкод під час пересування;
- простий інтерфейс керування дозволяє швидко інтегрувати робота в корпоративні та освітні середовища.

Double robotics double 3 часто використовується у корпоративних умовах для участі у віддалених зустрічах або для віддаленого навчання. Його мобільність дозволяє ефективно пересуватися в межах офісів або навчальних закладів.

OhmniLabs Ohmni – це інноваційний робот телеприсутності, який відзначається легкою конструкцією та доступністю для різних користувачів.

Основні функції:

- компактність і легка вага, OhmniLabs пропонує легку та мобільну конструкцію, що робить його зручним для перенесення та використання в різних середовищах;
- користувачі можуть легко керувати роботом через браузер або мобільний додаток за допомогою дистанційного керування;
- робот автоматично повертається на зарядну станцію, що робить його зручним для тривалого використання;
- високоякісні камери забезпечують чітке зображення та можливість огляду під різними кутами.

OhmniLabs Ohmni використовується як у домашніх умовах, так і в медичних закладах для забезпечення дистанційного догляду та комунікацій з пацієнтами.

Ava robotics ava – це високотехнологічний робот, спеціалізований для корпоративного сектору та медичних установ. Основні функції:

- автономна навігація, завдяки потужним сенсорам Ava robotics ava може автономно пересуватися по приміщенню, оминаючи перешкоди;
- інтеграція з платформами для відеоконференцій, Ava robotics ava забезпечує підтримку популярних платформ, таких як Zoom або Microsoft Teams, що робить його ідеальним для корпоративних зустрічей;
- підтримка декількох режимів роботи, робот може працювати як у режимі повністю автоматичного переміщення, так і під контролем оператора.

Ava robotics ava активно використовується в корпоративних середовищах для проведення віддалених нарад, конференцій, а також у медичних установах для взаємодії з пацієнтами.

Suitable technologies BEAM – робот, розроблений для забезпечення якісної віддаленої присутності через відео та аудіо зв'язок. Основні функції:

- робот має колісну платформу, яка дозволяє легко переміщуватися в межах офісу чи конференц-залу, що забезпечує прекрасну мобільність;
- оснащений високоякісною камерою та мікрофонами, що забезпечують чистий звук і чітке зображення;
- також Suitable technologies BEAM може працювати тривалий час без необхідності підзарядки, що робить його зручним для тривалих зустрічей.

Suitable technologies BEAM використовується в корпоративному середовищі для віддаленої присутності на зустрічах, презентаціях та інших бізнес-подіях. Його висока якість відео та аудіо робить його ідеальним для взаємодії в реальному часі.

Vesna robotics qc bot – робот, який спеціалізується на автоматизації процесів у медичних закладах та на виробництві. Основні функції:

- перш за все, vesna robotics qc bot оснащений складною системою навігації, яка дозволяє йому безпечно пересуватися по лікарням чи заводам;
- робот може виконувати різноманітні завдання, такі як доставка ліків, інструментів чи документів;
- також він підтримує можливість відеокommунікації, що дозволяє лікарям та медсестрам взаємодіяти з пацієнтами на відстані.

Vesna robotics qc bot використовується переважно в медичних установах для автоматизації логістичних процесів, зменшуючи потребу в людській праці. Його також застосовують на виробництві для ефективної доставки матеріалів.

В результаті проведеного аналізу було створено порівняльну таблицю 1.1 , представлену нижче.

Таблиця 1.1 – Порівняння функцій відомих роботів телеприсутності

Функція	Double 3 [4]	OhmniLabs Ohmni [5]	AVA Robotics AVA [6]	Suitable Technologies BEAM [7]	Vesna Robotics QC Bot [8]
Мобільність	Двоколісна конструкція	Двоколісна конструкція	Двоколісна конструкція	Двоколісна конструкція	Двоколісна конструкція
Камери	4К	Висока роздільна здатність	Підтримка відеоконференцій	Високоякісна камера	Камери для взаємодії з пацієнтами
Автономність	Висока	Автоматична зарядка	Так	Велика тривалість роботи	Висока для логістики
Призначення	Корпоративний сектор	Домашні та медичні установи	Корпоративні та медичні заклади	Корпоративний сектор	Медичні заклади та виробництво
Ціна	Середня	Доступна	Висока	Висока	Середня

Роботи телеприсутності мають широкий спектр функцій, які дозволяють їм застосовуватися в різних галузях. Double robotics double 3 і OhmniLabs ohmni є доступними та гнучкими рішеннями для різних потреб. AVA robotics AVA і Suitable technologies BEAM більше орієнтовані на корпоративні завдання, де важлива якість комунікації та автономія. Vesna robotics QC bot спеціалізується на автоматизації процесів у медичних закладах, де важливі функції безконтактної взаємодії та логістики.

1.3 Аналіз систем керування роботів телеприсутності

Системи керування є ключовим компонентом роботів телеприсутності, що забезпечують їх функціональність та зручність використання. Вони відповідають

за навігацію, взаємодію з користувачем, обробку даних сенсорів та виконання команд. Нижче наведено основні аспекти систем керування на прикладі популярних моделей роботів.

Типова архітектура системи керування роботом телеприсутності може включати наступні компоненти:

- сенсори, камери, лідари, ультразвукові датчики, інфрачервоні датчики тощо, які збирають інформацію про навколишнє середовище;
- блок керування, мікроконтролер або вбудований комп'ютер, який обробляє дані сенсорів, приймає команди від користувача та керує виконавчими механізмами;
- власне виконавчі механізми, мотори, серводвигуни та інші пристрої, які забезпечують рух робота, керування камерою та інші функції;
- також не менш важливим є інтерфейс користувача, програмне забезпечення або веб-інтерфейс, який дозволяє користувачеві керувати роботом та отримувати інформацію з його сенсорів;
- неможливо ігнорувати комунікаційні модулі, вони забезпечують зв'язок між роботом та користувачем, зазвичай через Wi-Fi або стільникову мережу.

Детальний аналіз виявив основні функціональні можливості систем керування:

- система керування обробляє дані сенсорів для побудови карти оточення, планування маршруту та уникнення зіткнень з перешкодами, що є навігацією для уникнення перешкод;
- дистанційне керування, дозволяє користувачеві керувати рухом робота, положенням камери та іншими функціями з віддаленого пристрою;
- деякі роботи мають функцію автономного пересування, що дозволяє їм самостійно переміщатися до заданої точки або виконувати певні завдання;

- більш сучасні системи підтримують голосові команди для керування роботом та виконання певних дій;
- можливість інтеграції з системами відеоконференцій, календарями, системами керування будівлею тощо, для того щоб зменшити кількість інформації, яку необхідно обробляти\контролювати людині\користувачу.

В ході аналізу реалізації систем керування роботів телеприсутності, було створено таблицю 1.2, яка розширює приклади реалізації систем керування в популярних моделях роботів телеприсутності.

Таблиця 1.2 – Приклади реалізації систем керування в популярних моделях роботів телеприсутності

Функція /Компонент	Double Robotics Double 3 [4]	OhmniLabs Ohmni [5]	Ava Robotics Ava [6]	Suitable Technologies Beam [7]	Vecna Robotics QC Bot [8]
1	2	3	4	5	6
Сенсори	Лідари, інфра червоні датчики, камера	Лідар, камера	Лідари, камери, ультразвукові датчики	Камера	Лідари, камери, інфрачервоні датчики
Блок керування	Вбудований комп'ютер	Вбудований комп'ютер	Вбудований комп'ютер	Вбудований комп'ютер	Вбудований комп'ютер
Виконавчі механізми	Мотори для руху, сервоприводи для керування камерою	Мотори для руху, сервоприводи для керування камерою	Мотори для руху, сервоприводи для керування камерою та дисплеєм	Мотори для руху	Мотори для руху
Інтерфейс	Веб-	Веб-	Веб-	Веб-	Інтерфейс на

користувача	інтерфейс, мобільний додаток	інтерфейс, мобільний додаток	інтерфейс, мобільний додаток	інтерфейс	роботі, мобільний додаток
-------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	-----------	---------------------------------

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6
Комунікаційний модуль	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi
Особливості системи керування	Автономне пересування, дистанційне керування, регулювання висоти	Автономне пересування (опціонально), голосове керування, поворот на 360 градусів	Автономне пересування, інтеграція з системами керування будівлею, великий дисплей	Дистанційне керування, проста система навігації	Автономне пересування, інтеграція з інформаційними системами лікарні, модульна конструкція

У таблиці 1.2, що наведено вище представлені основні компоненти та функції систем керування для деяких популярних моделей роботів телеприсутності. Кожна з них має особливі функції, які роблять її придатною для певних програм. Наприклад, Ava Robotics Ava з її автономною навігацією та інтеграцією з системами керування будівлею ідеально підходить для використання в корпоративному середовищі, тоді як Vecna Robotics QC Bot з модульною конструкцією та інтеграцією з медичними інформаційними системами призначений для роботи в лікарнях.

Системи керування відіграють вирішальну роль у функціональності та зручності використання роботів телеприсутності. Вони забезпечують навігацію, взаємодію з користувачем, обробку даних сенсорів та виконання команд. Розвиток технологій, таких як штучний інтелект та хмарні сервіси, відкриває нові можливості для створення більш інтелектуальних, автономних та зручних у використанні роботів телеприсутності.

1.4 Аналіз методів комунікації з роботом телеприсутності

Роботи телеприсутності надають унікальну можливість віддаленої присутності та взаємодії, і ефективність їх використання значною мірою залежить від якості та зручності комунікації з ними. Мною було розглянуто основні методи комунікації, їх переваги та недоліки, а також потенційні напрямки розвитку в майбутньому.

Основні методи комунікації з роботом телеприсутності:

а) дистанційне керування – це найпоширеніший метод комунікації, який дозволяє користувачеві керувати рухом робота, положенням камери та іншими функціями за допомогою інтерфейсу на комп'ютері, планшеті або смартфоні. Прикладами слугують: Double robotics double 3, OhmniLabs ohmni, Ava robotics ava, Suitable technologies Beam, Vecna robotics QC bot.

Методами дистанційного керування можуть слугувати веб-додатки та мобільні додатки. Роботи, такі як Double robotics double 3 та OhmniLabs ohmni, можуть керуватися дистанційно через спеціалізовані веб- або мобільні додатки. Це дозволяє оператору бачити, що відбувається, та керувати роботом у реальному часі.

А також, інтерактивні карти, AVA Robotics AVA дозволяє оператору створювати інтерактивні карти приміщень, які використовуються для точного пересування робота в межах офісів або медичних закладів. Із переваг можна виділити:

- 1) зручність та гнучкість оскільки користувач може керувати роботом з будь-якого місця, де є доступ до інтернету;
- 2) точність, яка дозволяє здійснювати точні маневри та налаштування;
- 3) універсальність, яка підходить для більшості роботів телеприсутності.

З недоліків можна визначити:

1) залежність від інтернет-з'єднання оскільки важливим фактором є якість зв'язку. Керування може погіршуватися при нестабільному з'єднанні;

2) обмежена інтуїтивність, оскільки вимагає певного часу на освоєння інтерфейсу керування;

3) суттєвим недоліком також є відсутність відчуття простору у користувача, користувач може відволіктися від взаємодії з оточуючими, не зосереджуючись на керуванні роботом.

б) голосове керування (аудіо) – дозволяє користувачеві керувати роботом та виконувати певні дії за допомогою голосових команд. Прикладами слугують: OhmniLabs ohmni (частково).

Методами аудіо комунікації можуть слугувати мікрофони та динаміки, аудіо фільтри. Роботи оснащені якісними мікрофонами та динаміками для забезпечення чіткого аудіо з двостороннім зв'язком. Наприклад, Suitable Technologies BEAM має вдосконалену систему мікрофонів, яка забезпечує чистий звук без перешкод.

Деякі роботи використовують аудіо фільтри або шумозаглушення для поліпшення якості звуку під час комунікації у шумних середовищах, наприклад у лікарнях або виробничих цехах. Перевагами слугують:

1) натуральність, так як це більш природний та інтуїтивний спосіб взаємодії;

2) звільнення рук, через те, що користувач може зосередитися на взаємодії з оточуючими, не відволікаючись на керування роботом;

3) особливо корисний для людей з обмеженими можливостями, що робить його більш доступним.

Недоліками є:

1) розпізнавання мови, так як може бути чутливим до шумів та акцентів;

2) обмежений набір команд. Функціональність може бути обмежена порівняно з дистанційним керуванням;

3) а також, використання голосових команд може викликати занепокоєння щодо конфіденційності даних.

в) жестове керування – дозволяє користувачеві керувати роботом за допомогою жестів та рухів тіла. Наразі ця функція не є широко поширеною серед комерційних роботів телеприсутності, але активно досліджується та розробляється. Плюсами може бути:

- 1) ще більш природний спосіб взаємодії, особливо для простих команд;
- 2) дозволяє передавати емоції та невербальні сигнали;
- 3) підвищує рівень залученості користувача у процес взаємодії.

Недоліки:

- 1) вимагає використання спеціальних сенсорів та алгоритмів розпізнавання жестів;
- 2) може бути менш точним порівняно з дистанційним та голосовим керуванням;
- 3) тривале використання може призводити до втоми користувача.

г) автономне функціонування – робот виконує певні завдання або переміщується самостійно, без постійного контролю з боку користувача. Прикладами слугують: Ava Robotics Ava, Vecna Robotics QC Bot (частково).

Переваги:

- 1) дозволяє роботу виконувати завдання без участі користувача, звільняючи його час;
- 2) робот може самостійно уникати перешкод та небезпечних ситуацій;
- 3) дозволяє створювати роботів, призначених для виконання конкретних завдань, наприклад, доставки або патрулювання.

Недоліки:

- 1) робот може бути менш гнучким у виконанні непередбачених завдань;
- 2) вимагає складних алгоритмів та систем штучного інтелекту;

3) повна автономність може викликати занепокоєння щодо безпеки взаємодії з людьми та оточуючими об'єктами.

д) комбіновані методи – це поєднання різних методів комунікації для досягнення максимальної ефективності та зручності. Більшість сучасних роботів телеприсутності підтримують комбінацію дистанційного та голосового керування.

Переваги:

1) користувач може вибирати найбільш підходящий метод комунікації в залежності від ситуації;

2) поєднання сильних сторін різних методів дозволяє досягти найкращих результатів;

3) можливість налаштування системи керування під потреби конкретного користувача.

Недоліки:

1) вимагає інтеграції та координації різних систем керування;

2) може збільшити вартість робота.

Розвиток технологій штучного інтелекту, розпізнавання мови та жестів, а також віртуальної та доповненої реальності відкриває нові перспективи для комунікації з роботами телеприсутності.

Більш природна взаємодія, емоційна виразність, контекстна обізнаність, телеприсутність у віртуальній реальності усе ці функції породжують інтерес до технології роботів телеприсутності. Голосове та жестове керування стануть більш точними та інтуїтивними, дозволяючи користувачам взаємодіяти з роботами так само природно, як і з людьми. Роботи зможуть розпізнавати та передавати емоції користувача, що зробить взаємодію більш емпатичною та ефективною. Роботи зможуть розуміти контекст ситуації та адаптувати свою поведінку відповідно, що зробить їх більш корисними та ефективними помічниками. Інтеграція з віртуальною реальністю дозволить користувачам відчувати себе повністю

зануреними у віддалене середовище, що значно розширить можливості телеприсутності.

Роботи телеприсутності мають великий потенціал для зміни способу нашої взаємодії та комунікації на відстані. Розвиток методів комунікації відіграє ключову роль у реалізації цього потенціалу, роблячи робітників більш доступними, зручними та ефективними для широкого кола користувачів.

1.5 Постановка задачі дослідження

На базі проведеного аналізу у першому розділі було виявлено, що існуючі роботи телеприсутності часто орієнтовані на конкретні сфери застосування (наприклад, корпоративний, медицина, освіта тощо.), що ускладнює їх використання простими користувачами.

Інтерфейси користувача є не завжди зручними для освоєння та використання. Також, більшість робітників телеприсутності мають неймовірно високу вартість, що обмежує їх доступність для масового використання. Крім того в результаті аналізу було виявлено, що переважна більшість робітників телеприсутності мають високогабаритну будову, що заперечує встановленню на робочий стіл.

Як результат було вирішено розробити структурну схему для системи керування робота телеприсутності, який буде встановлюватися на робочий стіл користувача, не буде таким габаритним як інші представники даної категорії робітників та буде допомагати користувачеві виведенням інформації необхідної для користувача.

1.6 Висновки до розділу 1

У першому розділі, було проведено всебічний аналіз сучасних робіт телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованих виробництв, їх функцій, систем керування та методів комунікації. Метою розділу було дослідження існуючих технологій, визначення їх сильних і слабких сторін, а також виявлення можливостей для подальшого вдосконалення.

Інформаційні результати отримані в першому розділі, стануть фундаментом і виконують роль бази для подальшого проектування робота телеприсутності.

2 РОЗРОБКА МАКЕТУ РОБОТА ТЕЛЕПРИСУТНОСТІ

2.1 Розробка структурної схеми

Розробка структурної схеми передбачає побудову візуального представлення компонентів та зв'язків між ними в межах певної системи. Структурна схема в свою чергу допомагає зрозуміти, як працюють основні частини системи, їхні функції та взаємозв'язки. Проаналізувавши цілі розробки, було прийнято рішення, щоб представити структурну схему у вигляді набору блокових елементів і зв'язків між ними. Деякі базові блоки, які стануть основоположними при збірці робота телеприсутності представлені нижче:

- Telepresence Robot (TR) – робот телеприсутності;
- Installation Area (IA) – площа встановлення. Спеціально підготована зона для встановлення на неї апаратних компонентів;
- Display Module (DM) – компонент системи, який відповідає за виведення інформації для користувача. Включає в себе екран або інтерфейс для візуалізації даних, таких як текст, зображення чи відео. Використовується для показу інформації або зворотного зв'язку для користувача;
- Operating System (OS) – операційна система, що її буде встановлено на основну плату, яка буде забезпечувати основні функції керування апаратними компонентами, що їх буде обрано у подальшому (такі як: сервомотори, дисплеї та інші модулі), а також має підтримку мережевих протоколів, необхідних для зв'язку з іншими компонентами або пристроями;
- Main Board (MB) – центральний компонент майбутнього робота телеприсутності, який забезпечує обробку даних, керування іншими модулями та загальну координацію роботи системи;

- Engine Control System (ECS) – важливий компонент, відповідальний за керування рухом серводвигунів, які забезпечують фізичні маніпуляцію або переміщення;
- Power System (PS) – система керування живленням. Забезпечує електроживлення для всіх інших модулів і компонентів;
- Aluminum Case (AC) – захисний та конструкційний елемент;
- Servomotors (S) – серводвигуни.

Як результат можна побачити узагальнену структурну схему системи керування робота телеприсутності, що її представлено нижче на рисунку 2.1.

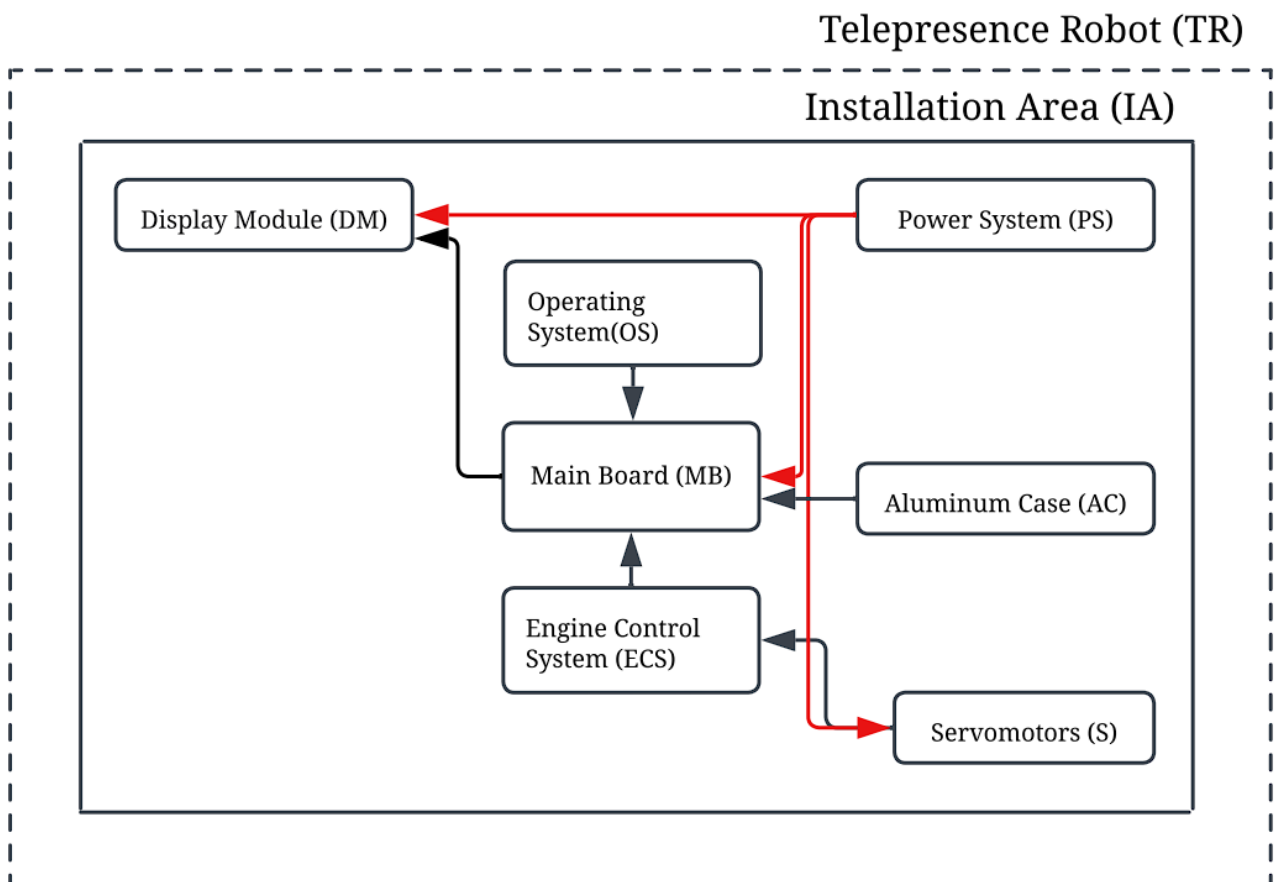


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема системи керування робота телеприсутності

2.2 Аналіз та вибір апаратних модулів

Наступними кроком після того як була розроблена узагальнена структурна схема системи керування робота телеприсутності, необхідно провести аналіз та вибірку існуючих на даний момент, а також задовольняючих проектні потреби апаратних модулів, на базі яких буде реалізовано розроблену структурну схему на рисунку 2.1.

Для того, щоб було можливо реалізувати задумане, необхідно визначити потребу, що їх має задовольняти плата як центральний компонент майбутнього макету. Визначимо обов'язкові умови до виконання:

- наявний micro-USB роз'єм, через який буде відбуватися живлення модуля;
- роз'єм для підключення монітора, може бути HDMI або micro-HDMI порт;
- живлення до 5 В, може бути 3,3 В або 5 В;
- слот для карти пам'яті;
- має підтримувати Wi-Fi інтернет підключення.

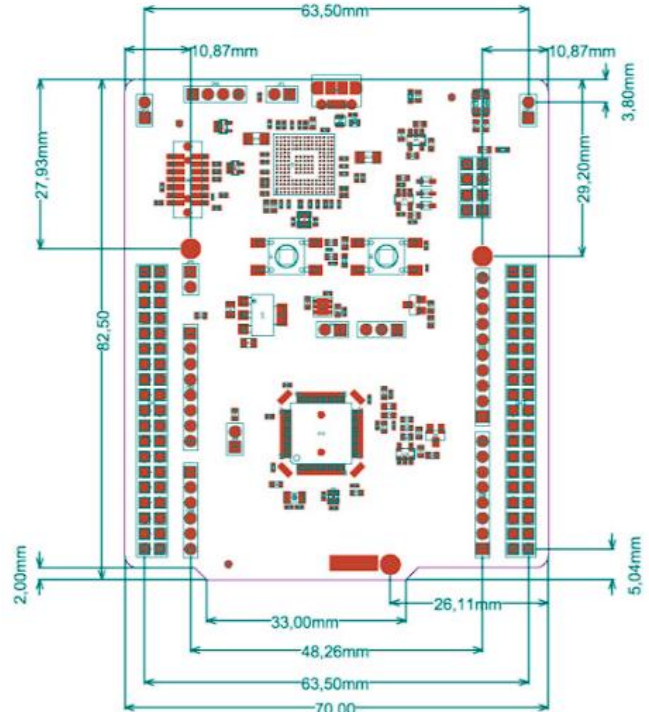
Wi-Fi модуль NodeMCU V3 ESP8266 – є платою розробника на базі чіпа ESP8266 (версія ESP12E), який являє собою UART-Wi-Fi модуль з ультра низьким споживанням. Сам чіп проектувався для пристроїв зі світу інтернет речей, а ця плата дозволяє спростити розробку, так як на ній вже реалізовано підключення по USB, регулятор живлення та всі виведення чіпа розведені на гребінки зі стандартним кроком 2.54 мм, що дозволяє вставити його в макетну плату та створити прототип навіть не включаючи паяльник. Крім цього плата поставляється з прошивкою NodeMCU, що дозволяє програмувати її за допомогою мови Lua або Arduino IDE [9]. Із виглядом даної плати, а також її розпіновкою можна ознайомитися на рисунку 2.2.

Представлена плата має наступні характеристики:

- WiFi 802.11 b / g / n;
- підтримка STA / AP / STA + AP режимів;
- вбудований стек протоколів TCP / IP з підтримкою множинних клієнтських підключень (до 5);
- D0 ~ D8, SD1 ~ SD3: можуть бути використані як GPIO, PWM, ІС, тощо;
- ток на виведення: 15 мА;
- AD0: 1 виведення АЦП;
- живлення: 4.5 - 9В (10В максимум), живлення від USB з наданням отладочного інтерфейсу;
- споживання: обмін даними: ~ 70 мА (200 мА максимум), очікування: <200 мкА;
- швидкість передачі: 110-460800 б/сек;
- підтримка UART / GPIO інтерфейсів передачі даних;
- перепрошивка з хмари або через USB;
- відстань між контактними пинами: 28 мм;
- діапазон робочих температур: -40 ~ +125 ° С;
- вага: 18 г.

NUCLEO-G491RE – це високопродуктивна STM32 Nucleo-64 плата на базі мікроконтролера STM32G491RET6U (Arm Cortex-M4 MCU 170 МГц, має вбудований математичний прискорювач, інтеграцію високого аналогового рівня) з пам'яттю Flash 512 Кбайт, тип плати – MB1367. Плата STM32 Nucleo-64 надає користувачам доступний і гнучкий спосіб випробувати нові концепції і створювати прототипи, вибираючи з різних комбінацій характеристик продуктивності і енергоспоживання, що надаються мікро контролером STM32. Для сумісних плат зовнішній SMPS значно знижує енергоспоживання в режимі

роботах [10]. Із виглядом даної плати, а також її габаритним розмірами можна ознайомитися на рисунку 2.3.



а)

б)

а) передній вигляд плати Nucleo-G491RE

б) габаритні розміри плати Nucleo-G491RE

Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд плати Nucleo-G491RE та її габаритні розміри [10]

Загальні характеристики:

- мікроконтролер STM32 в корпусі LQFP64;
- 1 призначений для користувача світлодіодний індикатор спільно з ARDUINO;
- 1 призначена для користувача і 1 кнопка скидання;
- кварцовий генератор 32,768 кГц;
- роз'єми на платі: роз'єм розширення ARDUINO® Uno V3 роз'єми для розширення ST morpho для повного доступу до всіх входів / виходів STM32;

- гнучкі варіанти харчування: ST-LINK, USB VBUS або зовнішні джерела;
- вбудований відладчик / програматор ST-LINK з можливістю повторного перерахування USB: пристрій, віртуальний COM-порт і порт налагодження;
- великі бібліотеки безкоштовного програмного забезпечення та приклади, доступні в пакеті MCU STM32Cube;
- підтримка широкого вибору інтегрованих середовищ розробки (IDE), включаючи IAR Embedded Workbench®, MDK-ARM і STM32CubeIDE.

Мікрокомп'ютер Raspberry Pi Zero 2w – це наступне покоління Raspberry Pi Zero W у тому ж форм-факторі, але відмінність у тому, що на платі встановлений чотириядерний 64-бітний процесор Arm Cortex-A53 з тактовою частотою 1 ГГц. В його основі лежить система в корпусі (SiP) Raspberry Pi RP3A0, в якій інтегрована матриця Broadcom BCM2710A1 з 512 МБ LPDDR2 SDRAM. Модернізований процесор забезпечує Raspberry Pi Zero 2 W на 40% більше однопоточної продуктивності та вп'ятеро більшої багатопоточної продуктивності, ніж у оригінального одноядерного Raspberry Pi Zero. Зовнішній вигляд плати представлено на рисунку 2.4, габаритні розміри на рисунку 2.5 та розпіновка на рисунку 2.6.

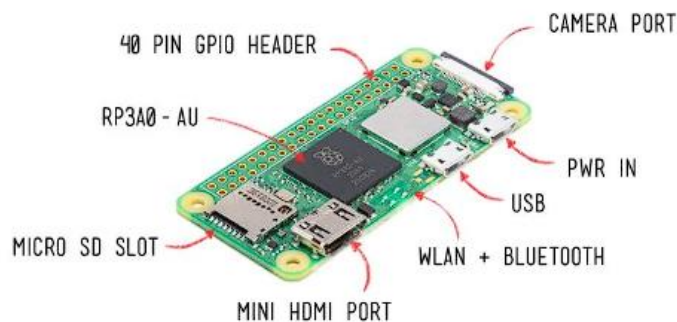


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд плати Raspberry Pi Zero 2w [11]

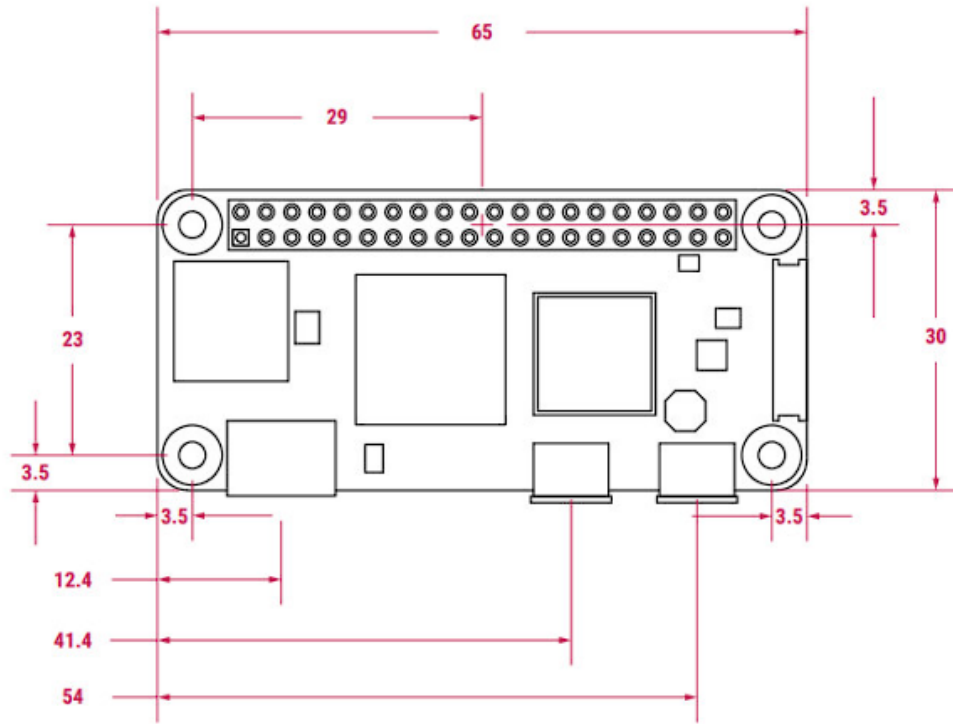


Рисунок 2.5 – Габаритні розміри плати Raspberry Pi Zero 2w (в мм) [11]

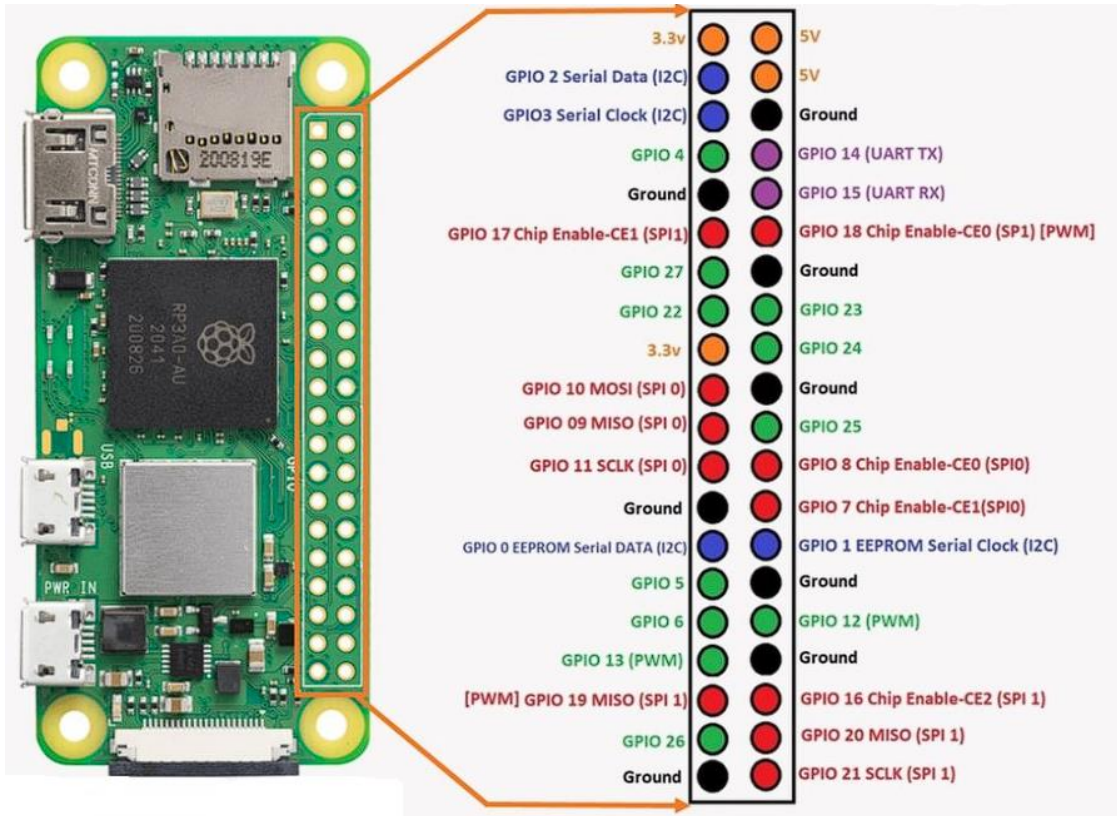


Рисунок 2.6 – Розпіновка плати Raspberry Pi Zero 2w [11]

Після проведення аналізу відомих та доступних апаратних модулів, які технологічно відповідають висунутим потребам і поставленим цілям, було обрано плату Raspberry Pi zero 2w, як основу для майбутнього макету. Вибір даної плати для мого робота телеприсутності має низку переваг порівняно з іншими розглянутими варіантами.

По-перше, Raspberry Pi Zero 2W має більш потужний процесор у порівнянні з ESP8266 і навіть STM32 на Nucleo-G491RE, що дозволяє виконувати складніші задачі обробки даних. Це особливо корисно для проекту телеприсутності, де можуть знадобитися обробка зображень, контроль камер або виведення інформації на дисплей.

По-друге, на Raspberry Pi Zero 2W можна встановити Raspberry Pi OS, що надає всі переваги операційної системи: багатозадачність, підтримку Python, C++ та інших мов програмування, а також доступ до великої кількості бібліотек для роботи з сервомоторами, дисплеєм, мережею тощо. На відміну від цього, NodeMCU ESP8266 та Nucleo-G491RE працюють без операційної системи або з обмеженими RTOS, що ускладнює багатозадачність та підтримку зовнішніх компонентів.

По-третє, Raspberry Pi Zero 2W має безліч інтерфейсів для підключення зовнішніх модулів, таких як камери, дисплеї, серводрайвери тощо. Це значно полегшує підключення та керування вашими MG996R сервомоторами, LCD модулем та іншими компонентами. В той час як NodeMCU ESP8266 обмежений по входах/виходах та може мати проблеми з одночасним керуванням кількома компонентами.

Ще одним важливим фактором є те, що Raspberry Pi Zero 2W має вбудований Wi-Fi та Bluetooth, що ідеально підходить для функції телеприсутності, забезпечуючи стабільний зв'язок для віддаленого керування та

обміну даними. NodeMCU ESP8266 теж має Wi-Fi, його потужності обробки значно менші, що обмежує його можливості для вашого проекту. Nucleo-G491RE не має вбудованого Wi-Fi, тому для віддаленого зв'язку потрібно було б додатково підключати модулі. Raspberry Pi має дуже велику спільноту, де є багато прикладів, інструкцій та підтримки, що може бути корисно на етапах розробки та усунення несправностей. Для NodeMCU ESP8266 та STM32 Nucleo теж є підтримка, але вона не така розгалужена для завдань, які вимагають складної інтеграції різних компонентів.

Raspberry Pi Zero 2W пропонує ідеальний баланс між обчислювальною потужністю, простотою інтеграції компонентів, підтримкою ОС, а також стабільним бездротовим зв'язком, що робить його найкращим вибором для мого телеприсутнього робота.

Наступним кроком необхідно обрати серводвигун для руху екрану. Для нього також потрібно визначити декілька важливих обмежень, а також обов'язкових характеристик, а саме:

- кут повороту від 180 градусів;
- невеликі вага і габарити.

На рисунку 2.7, що його представлено нижче, зображено три серводвигуни SG-90, MG-90S та MG-996R. Також нижче буде представлена порівняльна таблиця 2.1.



а)



б)



в)

- а) SG-90 [12]
 б) MG-90S [13]
 в) MG-996R [14]

Рисунок 2.7 – найпростіші й найбільш підходящі серводвигуни для реалізації керування екраном

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики серводвигунів

Параметри	SG90 [12]	MG90S [13]	MG996R [14]
Кут повороту (°)	180	180	180
Розміри (мм)	23 x 12.2 x 29 мм	22.8 x 12.2 x 28.5	40.7 x 19.7 x 42.9
Вага (г)	9	14	55
Тип шестерень	Пластикові	Металеві	Металеві
Крутний момент	Близько 1.8 кг·см при 4.8V	Близько 2.2 кг·см при 4.8V	9.4 кг·см при 4.8V; 11 кг·см при 6V
Напруга (V)	4,8	4,8	4,8-7,2
Споживання	Низький	Низький	Середній

У результаті проведеного аналізу, було обрано серводвигун MG996R, оскільки він має високий крутний момент – MG996R забезпечує значно вищий крутний момент порівняно з SG90 і MG90S, що робить його ідеальним для задач, де потрібна більша потужність та стабільність. Підвищена міцність та надійність, особливо для застосувань, де серво піддається значним навантаженням. Підтримка до 7.2V дозволяє використовувати його в проектах з більшою потужністю, що розширює можливості.

Останнім кроком є вибір модулю екрану. Для нього також потрібно визначити декілька важливих обмежень, а також обов'язкових характеристик, а саме:

- невеликі вага і габарити;
- передача кольорів;
- роздільна здатність;
- яскравість.

Нижче на рисунку 2.8 наведені зображення можливих варіанті, а у таблиці 2.2 наведені основні характеристики дисплей модулів.



а)



б)



в)

а) RP2040 1.28inch Round LCD [15]

б) 2.1 Inch TFT OLED Display Module [16]

в) 1.3" OLED Module [17]

Рисунок 2.8 – Зображення можливих варіанті дисплей модулів

Таблиця 2.2 – Порівняльна таблиця дисплей модулів

Параметр	RP2040 1.28inch Round LCD [15]	2.1 Inch TFT OLED Display Module [16]	1.3" OLED Module [17]
1	2	3	4
Розмір (дюйм)	1.28	2.1	1.3
Роздільна здатність (пікселів)	240x240	320x240	128x64
Інтерфейс	SPI	SPI	I2C/SPI

Форма	Круглий	Овальний	Прямокутний
Кольори	Кольоровий	Кольоровий	Монохромний
Яскравість і контраст	Високі	Середні	Високий контраст
Енергоспоживання	Помірне	Високе	Низьке
Складність підключення	Легко	Легко	Легко
Тип дисплея	IPS LCD	TFT	OLED

Як результат було обрано екран RP2040 1.28inch Round LCD. Круглий дисплей зручно інтегрується у компактний дизайн робота, що додає естетичної привабливості і функціональності. 240x240 пікселів забезпечують хорошу чіткість для такого невеликого розміру екрану, дозволяючи відображати як текстову, так і графічну інформацію в кольорі. Простий у підключенні до Raspberry Pi Zero 2W, з хорошою швидкістю передачі даних для дисплеїв такого розміру. IPS LCD забезпечує яскравість і високу контрастність, зручно для читання з різних кутів.

Відповідно до характеристик обраних мною апаратних модулів, була створена структурна схема. Ознайомитися із структурною схемою можна нижче на рисунку 2.9.

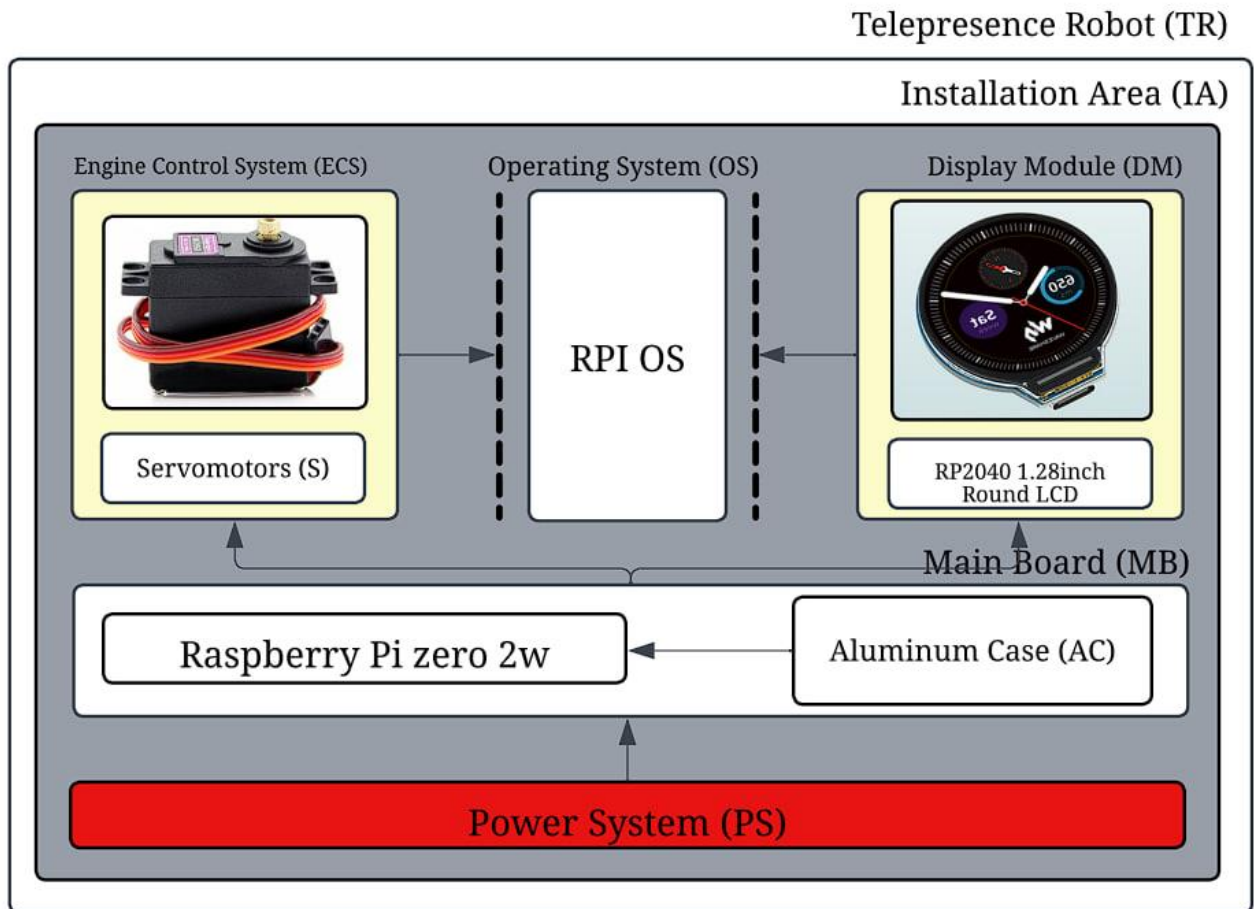


Рисунок 2.9 – Структурна схема системи керування роботом телеприсутності

На інсталяційній площі (IA), розміщено мікрокомп'ютер Raspberry Pi zero 2w у якості основної плати (MB), яку поміщено в алюмінієвий корпус (AC). До плати підключається три серводвигуни (S), які призначені для утримання та поворотоздатності дисплей модуля RP2040 1.28inch Round LCD (DM). Основна плата живиться від мережі через micro-USB роз'єм. На основну плату встановлюється Raspberry Pi OS, за допомогою якої буде представлений графічний інтерфейс на моніторі через micro HDMI. Саме через основну плату буде відбуватися керування дисплей модулем та серводвигунами, які його тримають.

Також, у майбутньому є можливість додати елемент переміщення, відтворення звуку та ехолотатор для відслідковування положення користувача.

2.3 Розробка схеми підключення

Для наступного етапу розробки макету робота телеприсутності, необхідно розробити схему електричну принципову та скласти схему підключення. Зображення схеми електричної принципової наведено нижче на рисунку 2.10. Також у таблиці 2.3 наведено підключення серводвигунів до плати (пінів), а у таблиці 2.4 підключення LCD дисплея.

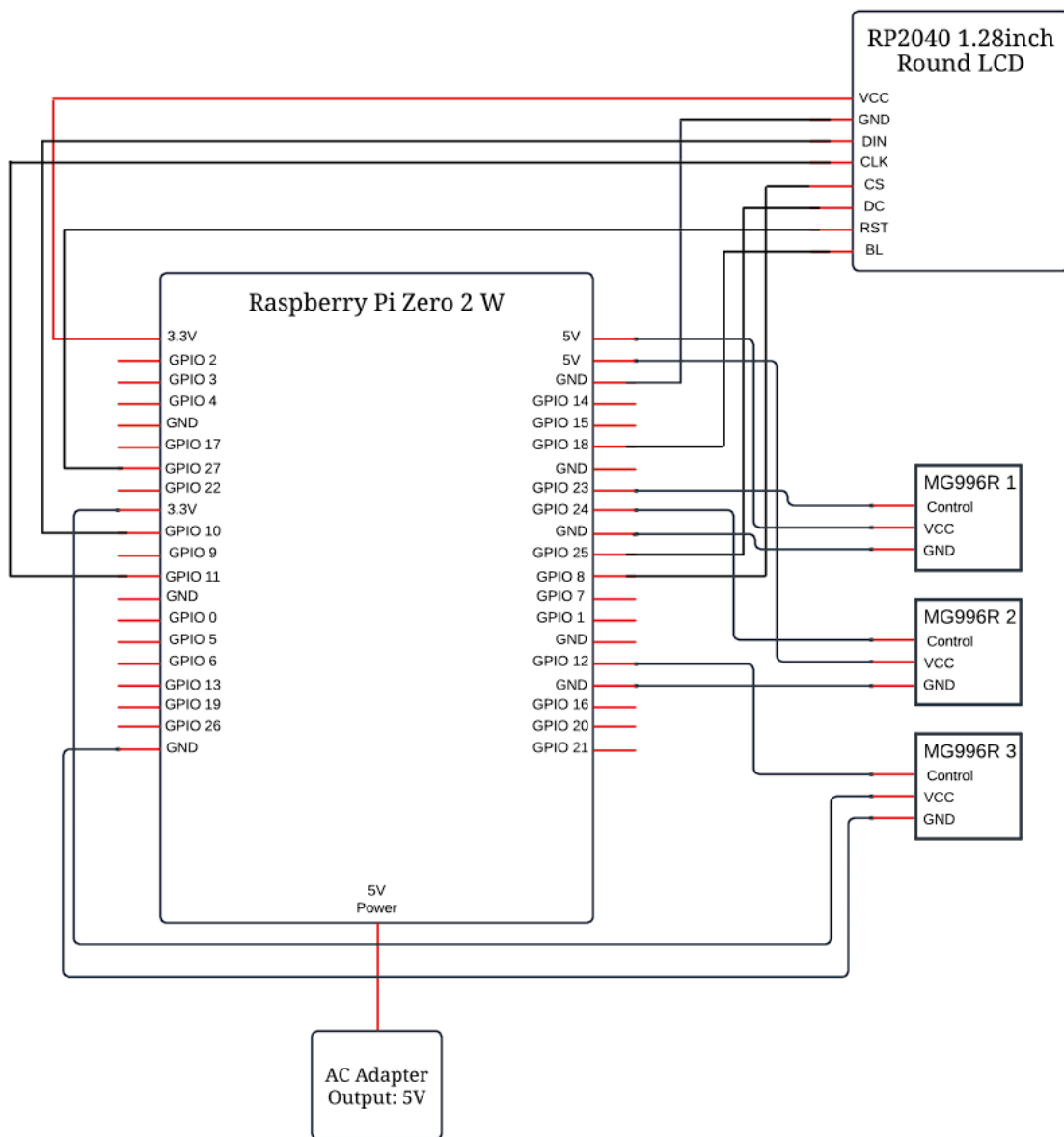


Рисунок 2.10 – Схема електрична принципова

Таблиця 2.3 – Підключення «ПІН-серводвигун»

Серводвигун №	№ Піна
SERVO_MG996R_1	GPIO 23
SERVO_MG996R_2	GPIO 24
SERVO_MG996R_3	GPIO 12

Таблиця 2.4 – Підключення «ПІН-дисплей»

LCD Display	Raspberry Pi zero 2w
VCC	3.3V
GND	GND
DIN	GPIO 10 MOSI
CLK	GPIO 11 SCLK
CS	GPIO 8 CEO
DC	GPIO 25
RST	GPIO 27
BL	GPIO 18

Для підключення дисплей модуля до плати, були використані наступні піни:

- VCC (3,3V) – вивід живлення для дисплея. Підключається до 3,3V на Raspberry Pi, щоб забезпечити електроживлення дисплея;
- GND (Ground) – загальний (нульовий) контакт. З'єднує заземлення дисплея з заземленням Raspberry Pi, щоб завершити електричний ланцюг;
- DIN (Data In) – вивід для вхідних даних (MOSI). Підключається до GPIO 10 (MOSI) на Raspberry Pi, через який передаються дані на дисплей;
- CLK (Clock) – сигнал синхронізації (SCLK). Підключається до GPIO 11 (SCLK), що забезпечує тактовий сигнал для передачі даних між Raspberry Pi та дисплеєм;
- CS (Chip Select) – вибір чіпа, використовується для активації дисплея. Підключається до GPIO 8 (CEO), що вказує дисплею, коли він повинен приймати дані;
- DC (Data/Command) – контрольний вивід, який вказує дисплею, чи передаються команди чи дані. Підключений до GPIO 25 на Raspberry Pi;

- RST (Reset) – вивід скидання дисплея. Підключається до GPIO 27, що дозволяє перезавантажувати дисплей, якщо потрібно;
- BL (Backlight) – підсвітка дисплея. Підключається до GPIO 18 на Raspberry Pi для контролю підсвітки екрану.

Це підключення дозволяє повністю керувати дисплеєм з Raspberry Pi, забезпечуючи передачу даних, синхронізацію, керування живленням і підсвіткою.

2.4 Розрахунки передаточної функції серводвигуна для MG996R

Спираючись на вже отримані дані, а також, проаналізувавши взаємозв'язки між вхідними і вихідними сигналами розробляемого мною макету робота телеприсутності, я розробив структуру моєї системи керування на основі Raspberry Pi Zero 2 W, представлену нижче на рисунку 2.11.

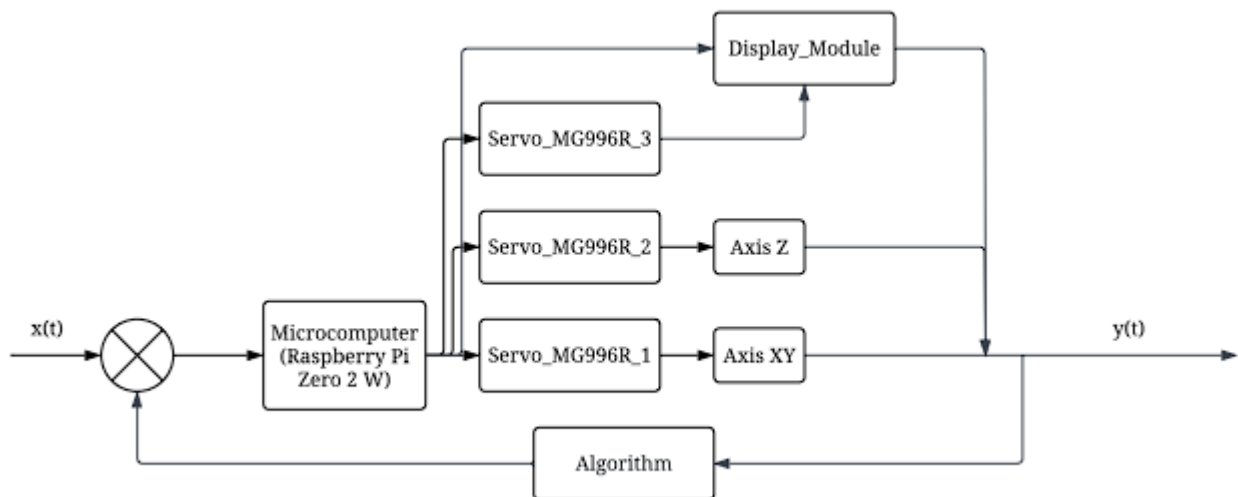


Рисунок 2.11 – Структура системи керування

За вхідний параметр позначається $x(t)$, що визначається як вхідний сигнал, що передається через мікроконтролер Raspberry Pi Zero 2 W, до кожного

серводвигуна MG996R (саме вони відповідають за рух дисплей модуля) та дисплей модуля RP2040 1.28 LCD. Один серводвигун рухається по осям XY, один по осі Z, а також один серводвигун відповідає за поворот самого екрану. Керування серводвигунами так само як і дисплей модулем відбувається за вже запрограмованим алгоритмом.

На рисунку 2.11, окрім самої структури системи керування роботом телеприсутності, також, представлено спосіб визначення елементів системи керування телеприсутнім роботом. Як уже було визначено у підрозділі 2.2, основною платою було обрано Raspberry Pi Zero 2 W, яка має багатофункціональний процесор, потужності якого вистачає для роботи з графічними операційними системами, відтворення фільмів, ретро-емуляції та обробки відео.

В представленій системі керування, майже кожен компонент може бути легко замінений на більш сучасний, дешевий чи більш функціональний. Проте оскільки заміна такого компонента як серводвигун може доволі сильно вплинути на фактор руху робота телеприсутності, я вирішив зосередитися саме на серводвигунах – двигунах постійного струму (ДПС). Для проведення аналізу роботи ДПС потрібно розглянути основні рівняння двигуна, та вивести передаточну функцію перетворивши їх у просторі Лапласа.

Першим основним рівнянням є електричне рівняння якоря, що його представлено нижче:

$$U(s) = E(s) + I_a(s) \cdot R_a + s \cdot L_a \cdot I_a(s), \quad (2.1)$$

де $U(s)$ – напруга на якорі двигуна (перетворена в простір Лапласа);

$E(s)$ – ЕРС, яка у просторі Лапласа дорівнює $k_e \cdot \Omega(s)$;

$I_a(s)$ – струм якоря у просторі Лапласа;

R_a – опір обмотки якоря;

L_a – індуктивність обмотки якоря;

$\Omega(s)$ – кутова швидкість двигуна в просторі Лапласа.

Виконаємо підстановку $E(s)$:

$$U(s) = k_e \cdot \Omega(s) + I_a(s) \cdot R_a + s \cdot L_a \cdot I_a(s). \quad (2.2)$$

Другим основним рівняння є механічне рівняння моменту, що його представлено нижче:

$$T(s) = J \cdot s \cdot \Omega(s) + T_{load}(s), \quad (2.3)$$

де $T(s)$ – момент, створений струмом якоря;

$T_{load}(s)$ – момент навантаження (я приймаю його за 0 для спрощення);

J – момент інерції ротора двигуна (якоря).

Момент $T(s)$ пропорційний струму якоря:

$$T(s) = k_t \cdot I_a(s). \quad (2.4)$$

Підставляючи $T(s)$ у механічне рівняння отримаємо два наступним результати:

$$k_t \cdot I_a(s) = J \cdot s \cdot \Omega(s), \quad (2.5)$$

або

$$I_a(s) = \frac{J \cdot s \cdot \Omega(s)}{k_t \cdot I_a}. \quad (2.6)$$

Як результат на даний момент ми маємо виведене рівняння 2.2 та 2.6. Для отримання передаточної функції підставимо $I_a(s)$ з другого рівняння в перше:

$$U(s) = k_e \cdot \Omega(s) + \left(\frac{J \cdot s \cdot \Omega(s)}{k_t \cdot I_a} \right) \cdot R_a + s \cdot L_a \cdot \left(\frac{J \cdot s \cdot \Omega(s)}{k_t \cdot I_a} \right). \quad (2.7)$$

Після спрощення отримуємо:

$$U(s) = \left(k_e + \frac{J \cdot s \cdot R_a}{k_t} + \frac{J \cdot s^2 \cdot L_a}{k_t} \right) \cdot \Omega(s). \quad (2.8)$$

У результаті я отримав передаточну функцію від напруги $U(s)$ до кутової швидкості $\Omega(s)$:

$$\frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{1}{k_e + \frac{J \cdot s \cdot R_a}{k_t} + \frac{J \cdot s^2 \cdot L_a}{k_t}}. \quad (2.9)$$

Для подальшого спрощення необхідно ввести деякі позначення та спрощення, а саме:

- $K = \frac{k_t}{k_e}$ – коефіцієнт підсилення двигуна;
- $\tau_m = \frac{J}{k_e \cdot k_t}$ – механічна стала часу;
- $\tau_e = \frac{L_a}{R_a}$ – електрична стала часу.

В результаті підстановки спрощень і позначень, передаточна функція приймає наступний вигляд:

$$\frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{K}{(1 + \tau_m \cdot s)(1 + \tau_e \cdot s)}. \quad (2.10)$$

У результаті маємо передаточну функцію двигуна постійного струму від поданої напруги до кутової швидкості, що її наведено у формулі (2.10).

2.5 Збірка макету робота телеприсутності

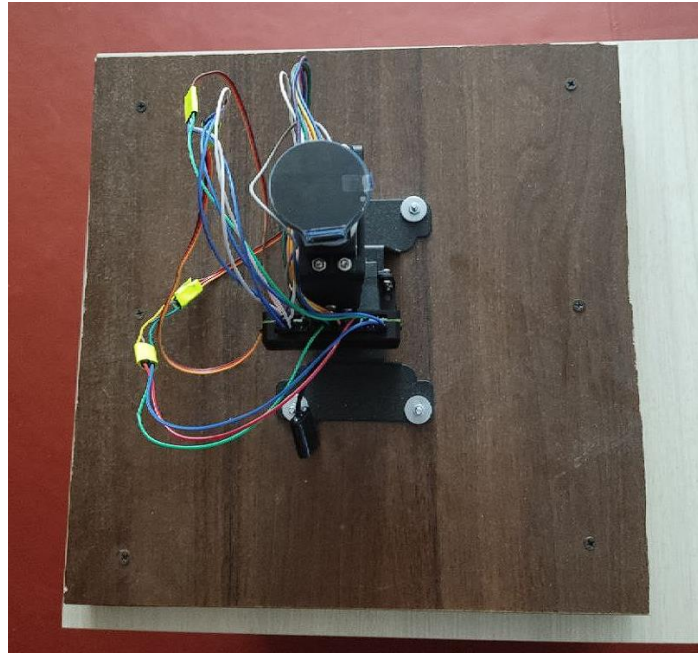
Отримавши структурну схему керування роботом телеприсутності з рис. 2.9, схему електричну принципову з рисунку 2.10, необхідне підключення пінів з таблиць 2.3 та 2.4, а також структуру системи керування, що зображено на рис. 2.11, мною було зібрано лабораторний макет робота телеприсутності на базі Raspberry Pi Zero 2 W. Зібраний макет представлено нижче на рисунку 2.12. А також, на рис. 2.13 представлено зображення підключення на плату.



a)



б)



в)

а) боковий вигляд

б) боковий вигляд зі сторони плати

в) вид згори

Рисунок 2.12 – Зібраний макет робота телеприсутності

На дерев'яну площу для встановлення було вмонтовано тримач для першого серводвигуна, після чого була побудована інша конструкція. На верхньому серводвигуні було зафіксовано обраний нами дисплей модуль RP2040 1.28 LCD. Після чого усі компоненти були підключені до обраної плати Raspberry Pi Zero 2 W. Після підключення усіх необхідних пінів плати було поміщено в алюмінієвий корпус та закріплено на основній конструкції.

До плати підключається монітор через мікро-HDMI порт, перехідник на USB для периферійних пристроїв, таких як клавіатура та мишка і мікро-USB живлення від адаптера. В результаті було зібрано робочий макет робота маніпулятора виходячи з усіх заявлених вимог та обраних компонентів.

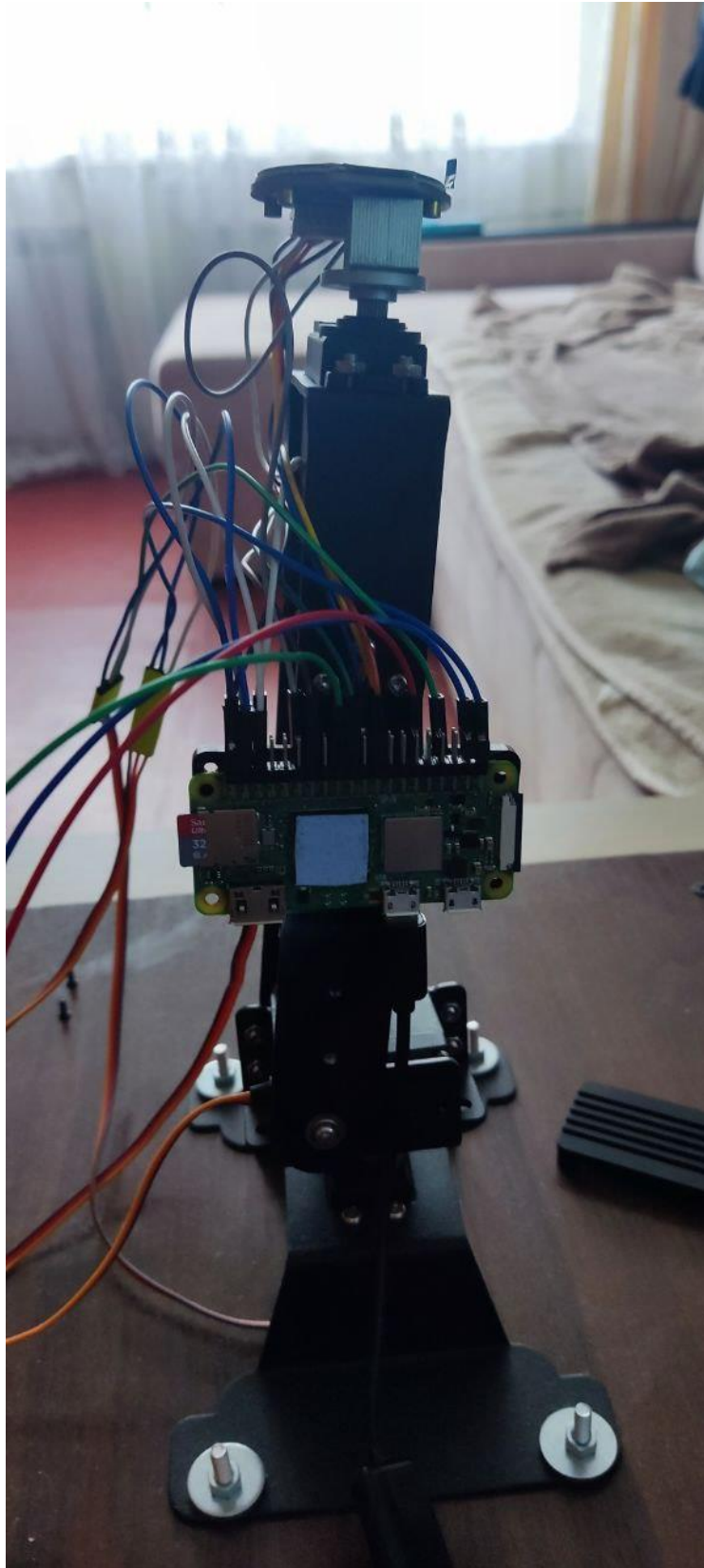


Рисунок 2.13 – Підключення на плату

2.6 Висновки до розділу 2

У ході виконання другого розділу була розроблена структурна схема. Дана структурна схема враховує всі необхідні ключові складові частини робота телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованих виробництв. На базі розробленої структурної схеми, було проведено аналіз і вибір сучасних та доступних модулів, які дозволяють вирішити всі поставлені завдання для поставленої задачі. Спираючись на вже обрані апаратні модулі було розроблено схему підключення, яка показує нам взаємодії всіх апаратних модулів, а також для правильного керування серводвигунами для руху дисплей модулем. Також, була розрахована передаточна функція для конкретного серводвигуна, який було обрано для створення макета маніпулятора. Для зібраного макету буде розроблено програмне забезпечення для автоматичного керування роботом телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованого виробництва.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТОМ ТЕЛЕПРИСУТНОСТІ

3.1 Аналіз середовища розробки

Для того щоб змусити усі компоненти системи взаємодіяти між собою, необхідно обрати мову програмування та операційну систему яку буде встановлено на обрану Raspberry Pi Zero 2 W.

Для написання коду взаємодії між компонентам було обрано мову програмування Python, оскільки вона має простий синтаксис, що дозволяє швидко писати, тестувати та впроваджувати код. Python пропонує численні бібліотеки, такі як:

- RPi.GPIO – для керування пінами;
- Pygame або Tkinter для створення графічного інтерфейсу;
- OpenCV для роботи з відеопотоками та зображеннями.

Також дана мова програмування легко працює з потоками та асинхронними задачами, що важливо для одночасного керування сенсорами, моторами та дисплеєм. Велика кількість прикладів, документації та активна спільнота спрощують розробку та вирішення проблем. Написаний код можна легко перенести на інші пристрої Raspberry Pi або Linux-системи.

Операційною системою було обрано Raspberry Pi OS. Raspberry Pi OS (раніше Raspbian) є офіційною ОС для всіх Raspberry Pi, що забезпечує найкращу сумісність з обладнання, вона підтримує запуск кількох процесів одночасно, що дозволяє ефективно працювати з дисплеєм, мережею та моторами. Має передвстановлену підтримку Python, SSH для віддаленого доступу, а також велику кількість пакетів для роботи з обладнанням. ОС має вбудовані засоби для налаштування Wi-Fi, що є критичним для телеприсутності. І найголовніше те, що

Raspberry Pi OS забезпечує стабільну роботу з модулями камер, дисплеїв, сенсорів та іншого обладнання, що значно спрощує інтеграцію компонентів.

Як результат, вибір Python як мови програмування та Raspberry Pi OS як операційної системи обумовлений їхньою простотою, широкими функціональними можливостями, активною спільнотою та стабільністю. Ці інструменти забезпечують гнучке, ефективне та масштабоване середовище розробки, яке відповідає вимогам проекту робота телеприсутності.

3.2 Розробка загального алгоритму роботи робота телеприсутності

Наступним кроком для реалізації проекту є розробка загального алгоритму роботи робота телеприсутності. Необхідно визначити основні компоненти на яких базується робота спроектованого робота телеприсутності, а саме:

- збір та обробка даних, отримання прогнозу погоди через API OpenWeatherMap, та отримання подій та задач із Google Календаря за допомогою API;
- візуалізація даних на екрані, відображення текстової інформації, зокрема температури, опису погоди, часу, а також виведення графічних елементів (зображень), що відповідають умовам погоди чи статусу користувача;
- реакція на події в календарі, інтерактивні повідомлення через попередньо запрограмовані сценарії;
- автоматизація циклів роботи, через циклічне оновлення даних погоди та подій календаря, виведення актуальної інформації через визначений інтервал часу.

Слід описати основні етапи алгоритму від ініціалізації системи до завершення роботи. Під час запуску пристрою виконується підготовка основних модулів, завантаження необхідних бібліотек Python, таких як requests, Pillow, google-auth, ініціалізація дисплея та перевірка підключення периферійного

обладнання, завантаження ключів доступу до API (наприклад, файл `credentials.json` та інші). На даному етапі згідно алгоритму відбувається перевірка наявності файлів конфігурації, виконується підключення до інтернету і ініціалізація графічного інтерфейсу та завантаження початкового екрану.

Наступним етапом йде етап отримання даних. Дані для роботи робота телеприсутності збираються через зовнішні сервіси. Так прогноз погоди, наприклад, за допомогою API `OpenWeatherMap` здійснюється запит до сервера з передачею параметрів міста, одиниць вимірювання та мови відповіді. Отримані дані містять – поточну температуру, відчутну температуру, швидкість вітру та його напрямок, а також опис погодних умов (англійською). Що стосується подій календаря, за допомогою `Google Calendar API` зчитуються найближчі події. Дані обробляються та зберігаються у вигляді JSON для подальшого використання.

Наступним етапом є виведення інформації на екран дисплея, даний етап виконується в кілька під-етапів:

- екран погоди: виводиться графічний смайлик, відповідний погодним умовам (сонце, дощ, хмари, буря й сніг). Поруч із зображення відображається текст, що відповідає отриманій інформації, такий як температура , поточна температура, опис погоди та швидкість вітру;

- екран подій.

Передостаннім етапом є реакція системи на зовнішні зміни, програмна частина забезпечує динамічне оновлення даних. По-перше, використання циклу `While` для регулювання запиту до API. Оновлення зображення на екрані відповідно до нових даних та перевірка актуальності подій у `Google Календарі`. Наприклад, якщо погода змінюється на якусь іншу, відповідний смайлик (зображення) оновлюються, а також змінюється текстовий опис.

Останній етап, після отримання сигналу завершення (наприклад, натискання кнопки або відключення живлення) система закриває активні сесії API, видаляє тимчасові файли та переводить дисплей у режим очікування або вимикає його.

Із загальною структурою коду можна ознайомитися на рисунку 3.1, що включає у себе модуль ініціалізації, модуль API, модуль обробки даних, модуль графіки та головний цикл. Також із алгоритмом роботи робота телеприсутності можна ознайомитися на рисунку 3.2.

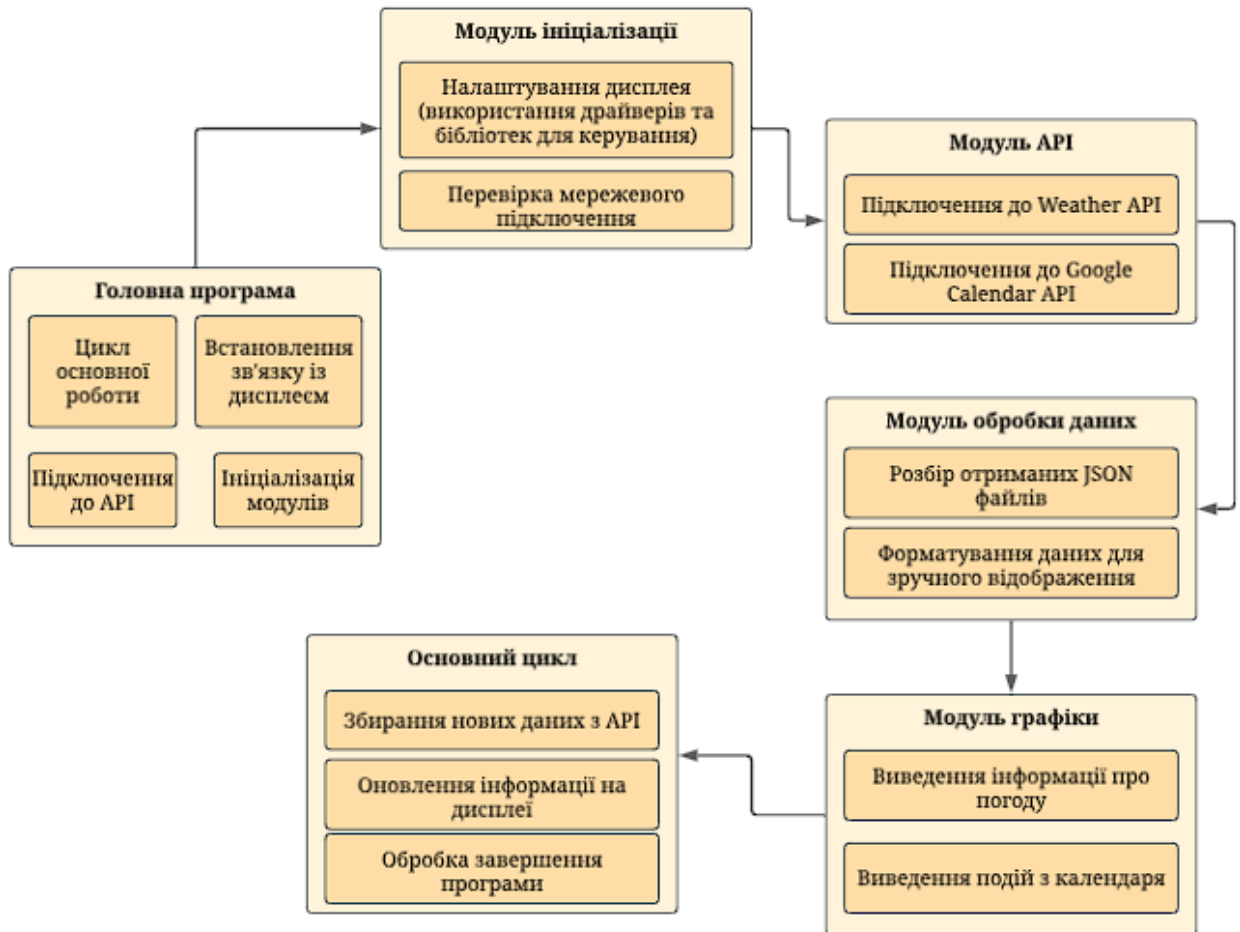


Рисунок 3.1 – Загальна структура роботи робота телеприсутності

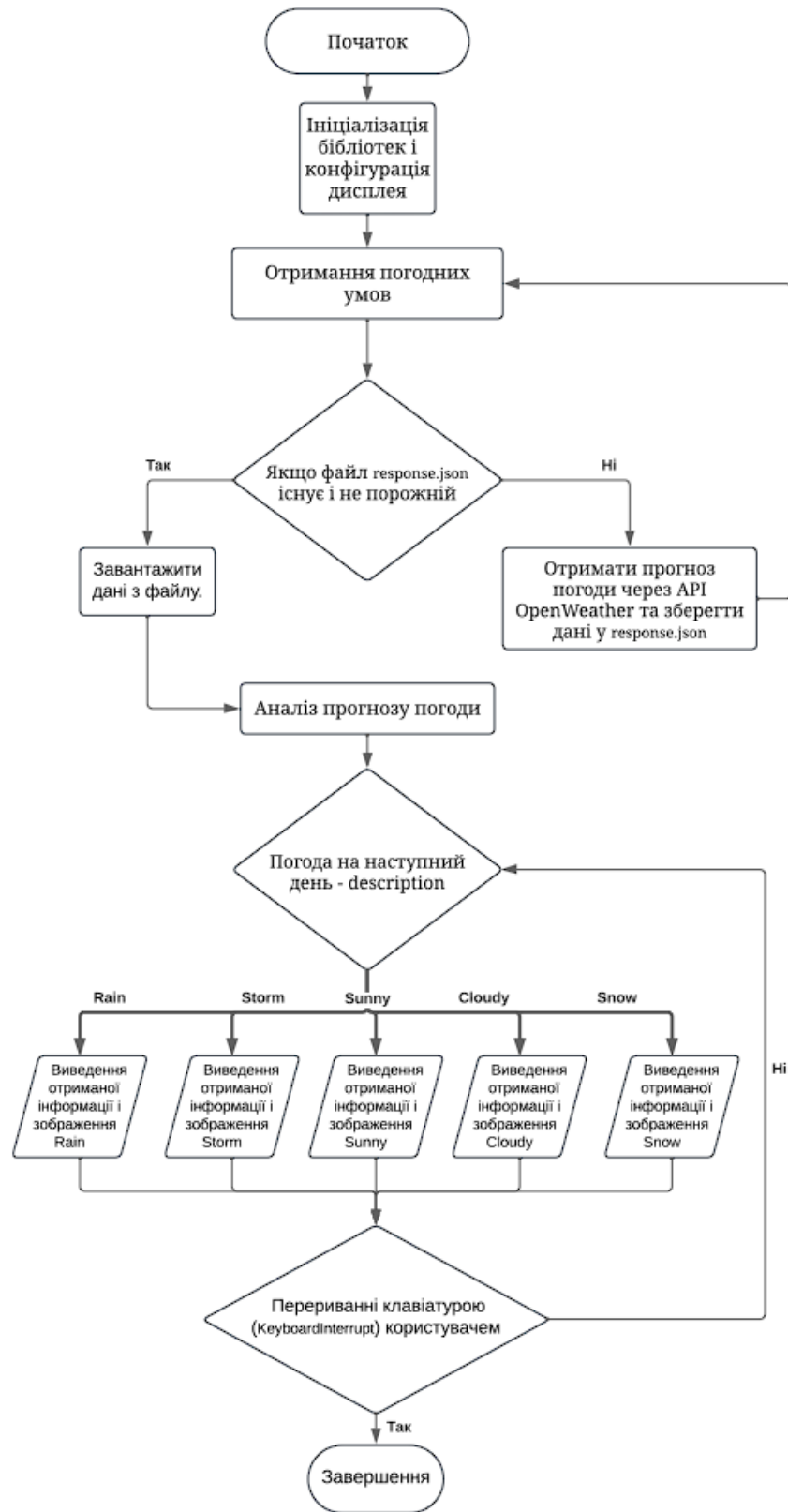


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи робота телеприсутності

3.3 Розробка алгоритму програми керування серводвигунами

Робота з серводвигунами є ключовим завданням в автоматизованих системах керування. Серводвигуни забезпечують точний контроль за кутовим положенням, швидкістю та прискоренням. У розробленій програмі реалізовано алгоритм, що дозволяє послідовно керувати трьома серводвигунами через використання бібліотеки RPi.GPIO. Нижче буде наведено основні етапи розробки програми.

Реалізація програми складається з кількох модулів, які забезпечують ініціалізацію GPIO для керування серводвигунами, функції плавного повороту (`smooth_set_angle`) і фіксованого кута (`set_fixed_angle`) та циклічне виконання сценаріїв керування двигунами. Програма як і було обрано реалізована на мові Python і забезпечує плавне регулювання руху серводвигунів шляхом зміни глибини імпульсу ШІМ-сигналу.

Алгоритм роботи складається з етапу ініціалізації GPIO на якому йде підготовка PIN-ів Raspberry Pi для роботи з двигунами, етапу налаштування ШІМ, тобто визначення початкових параметрів для керування широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), етапу функцій керування, де відбувається реалізація функцій для плавного переходу між кутами і встановлення фіксованого кута. Та останній етап циклічне виконання сценаріїв, програма працює у нескінченному циклі, виконуючи три різні сценарії руху.

Нижче буде представлено опис деяких основних функцій.

Функція `smooth_set_angle` – виконує плавний перехід між заданими кутами. ШІМ-сигнал змінюється поступово за крок, що задається користувачем. Це дозволяє уникати ривків у роботі серводвигуна.

```
def smooth_set_angle(pwm, pin, start_angle, end_angle, step=1, delay=0.02):  
    start_duty = 2 + (start_angle / 18)  
    end_duty = 2 + (end_angle / 18)
```

```

if start_duty <= end_duty:
    duty_range = range(int(start_duty * 10), int(end_duty * 10) + 1, step)
else:
    duty_range = range(int(start_duty * 10), int(end_duty * 10) - 1, -step)

for duty in duty_range:
    GPIO.output(pin, True)
    pwm.ChangeDutyCycle(duty / 10)
    time.sleep(delay)
    GPIO.output(pin, False)

pwm.ChangeDutyCycle(0)

```

Функція `set_fixed_angle` – встановлює серводвигун на конкретний кут, використовуючи обчислення ширини імпульсу.

```

def set_fixed_angle(pwm, pin, angle):
    duty = 2 + (angle / 18)
    GPIO.output(pin, True)
    pwm.ChangeDutyCycle(duty)
    time.sleep(0.5)
    GPIO.output(pin, False)

```

Розроблений алгоритм забезпечує ефективне керування серводвигунами, дозволяючи виконувати складні рухи з високою точністю. Гнучкість програми досягається за рахунок використання Python-функцій та можливості модифікації параметрів руху. Цей алгоритм може бути застосований у різних роботизованих системах, що працюють на базі Raspberry Pi. Із алгоритмом роботи програми керування серводвигунами можна ознайомитися на рисунку 3.3.

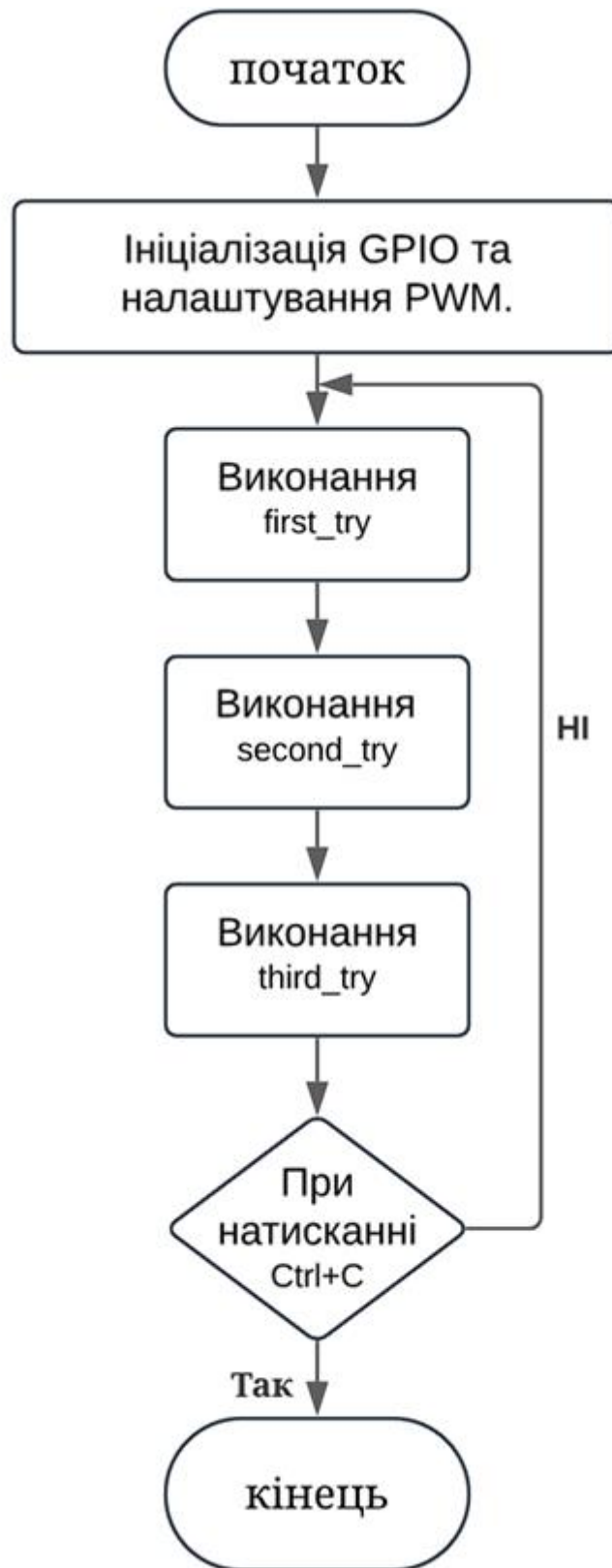


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи програми керування серводвигунами

3.4 Розробка програми взаємодії з гугл сервером

У сучасному світі інтеграція із зовнішніми сервісами, такими як Google Calendar, Google Drive або Gmail, є важливою складовою багатьох програмних систем. Такі сервіси дозволяють автоматизувати роботу з даними, забезпечувати їхню синхронізацію та розширювати функціонал програмного забезпечення. У цьому розділі розглядається процес розробки програми, яка взаємодіє з Google-сервером, використовуючи Google Calendar API для отримання та виведення інформації з календаря користувача.

Google API – це набір інтерфейсів прикладного програмування, які забезпечують доступ до даних і функціоналу різних сервісів Google, таких як Google Calendar, Google Drive, YouTube тощо. У даній розробці використовується Google Calendar API, який дозволяє отримувати події з календаря користувача, створювати нові події та редагувати наявні, а також отримувати інформацію про таймзони та налаштування користувача. Google API працює через OAuth 2.0 – протокол авторизації, який забезпечує безпечний доступ до облікового запису користувача без передачі пароля. Це дозволяє додаткам отримувати доступ до даних лише з дозволу користувача.

Першим кроком на шляху до реалізації є реєстрація проекту в Google Cloud Console. Після створення облікових даних завантажується файл `credentials.json`, який необхідний для авторизації.

Далі необхідно інсталювати бібліотеки для роботи з API. Для взаємодії з Google API необхідно встановити бібліотеки Python:

- `google-api-python-client` – основна бібліотека для роботи з API;
- `google-auth-httplib2` – бібліотека для авторизації;
- `google-auth-oauthlib` – для OAuth 2.0 аутентифікації.

Перший запуск програми передбачає авторизацію користувача через OAuth 2.0, яка використовує файл `credentials.json` для ініціалізації авторизації.

Користувач перенаправляється на сторінку авторизації Google, де дозволяє доступ до свого календаря. Отриманий токен зберігається у файлі `token.json` для повторного використання.

Після авторизації програма отримує список подій за допомогою Google Calendar API, це досягається шляхом запиту до сервера:

```
from googleapiclient.discovery import build

def get_calendar_events(creds):
    service = build('calendar', 'v3', credentials=creds)
    now = datetime.utcnow().isoformat() + 'Z' # Поточний час у форматі ISO
    events_result = service.events().list(calendarId='primary', timeMin=now,
                                         maxResults=10, singleEvents=True,
                                         orderBy='startTime').execute()
    events = events_result.get('items', [])
    return event
```

3.5 Експериментальне дослідження та аналіз отриманих результатів

Необхідно дослідити ефективність роботи розробленої системи відображення графічних елементів на екрані дисплея. Основну увагу буде приділено аналізу швидкості відображення графічних об'єктів відносно їх піксельних розмірів.

Під час експерименту використовувалися основні піксельні розміри для зображень, представлених у таблиці 3.1, також там можна отримати інформація про час відтворення зображення на екрані. Заміри бралися від початку запуску коду до появи зображення на екрані.

Таблиця 3.1 – Представлення отриманих результатів експерименту

Розширення	Пікселі (ширина x висота)	Опис	Час (с)
Thumbnail	150 x 150	Маленьке зображення, часто використовується як прев'ю чи для іконок.	03:18
Small	320 x 240	Використовується для малих картинок, часто в мобільних застосунках.	04:09
Rare	500 x 500		05:48
Medium	640 x 480	Середнє зображення, використовується для відео або прев'ю на веб-сайтах.	06:03
HD (720p)	1280 x 720	Висока роздільна здатність для відео та зображень на екранах з низьким дозволом.	06:12
Full HD (1080p)	1920 x 1080	Стандартна висока роздільна здатність для телевізорів, відео та веб-контенту	06:53
2K	2048 x 1080	Використовується в кіноіндустрії та професійному відео.	07:09
4K (Ultra HD)	3840 x 2160	Дуже висока роздільна здатність для сучасних телевізорів, моніторів та відео.	07:55

У таблиці вказані різні піксельні розміри для зображень. Ці розміри впливають на час відтворення зображення на екрані, оскільки чим більший розмір зображення, тим більше часу потрібно для його обробки та виведення. Розміри

зображень можуть варіюватися від маленьких прев'ю (наприклад, 150x150 пікселів) до великих (наприклад, 3840x2160 пікселів для 4K).

Час відтворення зображення на екрані залежить від кількох факторів:

- від розміру зображення (в пікселях). Чим більший розмір, тим більше часу потрібно на його обробку;
- від типу зображення (чорно-біле, кольорове, контурне). Кольорові зображення зазвичай потребують більше часу для відображення, ніж чорно-білі чи контурні, оскільки вимагають обробки більше кольорових каналів.

Для малих зображень (наприклад, 150x150 або 320x240 пікселів) час відтворення на екрані менший, оскільки вони мають меншу кількість пікселів, які потрібно обробити.

Для великих зображень (наприклад, 1920x1080 або 3840x2160 пікселів) час відтворення буде більшим через більший обсяг даних, що потрібно передати на дисплей.

Для досягнення оптимальної швидкості відображення можна використовувати менш деталізовані зображення або зображення з меншими розмірами пікселів. Використання зображень у форматах, які не потребують великої кількості обчислень, може значно зменшити час відтворення. Наприклад, чорно-білі або контурні зображення будуть відображатися швидше, ніж кольорові чи складні графічні елементи.

Під час проведеного експерименту було встановлено, що час відтворення зображення на екрані дисплея безпосередньо залежить від розміру зображення та його складності. Найшвидше відображення спостерігається для малих зображень з низькою роздільною здатністю (наприклад, 150x150 або 320x240 пікселів), оскільки вони потребують меншої кількості даних для обробки та передачі на екран. Збільшення розміру зображення до 1920x1080 пікселів або навіть 3840x2160 пікселів (4K) значно збільшує час обробки, що може призвести до затримок при відображенні.

3.6 Розрахунки освітлення у лабораторії

Спираючись на освітлення робочого місця згідно Державним будівельним нормам України, а саме на ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

Мінімальна освітленість встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Для IV розряду зорових робіт вона складає 300 – 500 лк.

Дана кваліфікаційна робота виконувалася в лабораторії з персональним комп'ютером (ПК). В якості штучного освітлення у приміщенні були використані люмінесцентні лампи.

Лабораторія має площу 18 м² (ширина складає – 4,5 м, в свою чергу довжина – 4 м та висота 2,7 м). Для визначення необхідної кількості світильників, що повинні забезпечити нормований рівень освітленості, має бути визначено світловий потік, що падає на робочу поверхню за наступною формулою:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}, \quad (3.1)$$

де F – світловий потік, що розраховується, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк; E = 300 Лк;

S – площа освітлюваного приміщення; (в моєму конкретному випадку S = 18 м²);

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної; (зазвичай приймається рівним, 1,1 – 1,2, в даному випадку Z = 1,1);

K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації; (значення даного

показника залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, для нашого випадку $K = 1,5$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, (даний показник виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін ($\rho_{\text{стін}}$) і стелі ($\rho_{\text{стелі}}$)), значення коефіцієнтів дорівнюють – 40% і 60%, відповідно.

Необхідно обчислити індекс приміщення за наступною формулою:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (3.2)$$

де S – площа приміщення; (в моєму випадку, $S = 18 \text{ м}^2$);

h – розрахункова висота підвісу; ($h = 2,7 \text{ м}$);

A – ширина приміщення; ($A = 4,5 \text{ м}$);

B – довжина приміщення; ($B = 4 \text{ м}$).

Виконавши підстановку власних значень я отримав наступний результат:

$$I = \frac{18}{2,7 \cdot (4,5 + 4)} \approx 0,78.$$

Після отримання розрахунків індекса приміщення, за таблицею знаходимо $\eta = 0,22$. У результаті підстановки усіх наявних значень у формулу для визначення світлового потоку F , були отримані наступні значення:

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 18 \cdot 1,1}{0,22} = 40500 \text{ Лм.}$$

Для освітлення було використано люмінесцентні лампи типу ЛБ 40-1, світловий потік останніх дорівнює $F = 4320$ Лм. Наступним кроком, мною було розраховано кількість ламп у світильниках за наступною формулою:

$$N = \frac{F}{F_n}, \quad (3.3)$$

де N – кількість ламп, що визначається;

F – світловий потік; $F = 40500$ Лм;

F_n – світловий потік ламп; що ми їх визначили, $F = 4320$;

Виконавши необхідні розрахунки, було отримано наступний результат $N \approx 9$. Таким чином, можна констатувати, що необхідно 3 світильники по 3 працюючі лампи, для забезпечення ідеальних умов освітлення.

3.7 Висновки до розділу 3

У третьому розділі була розроблена система керування роботом телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованих виробництв, а саме алгоритм роботи та системи керування серводвигунами. Вибір Python як мови програмування забезпечив ефективну інтеграцію апаратних компонентів і реалізацію необхідних алгоритмів. Розроблена система показала високу ефективність у тестових умовах, забезпечуючи стабільну роботу та точне керування роботом телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованих виробництв.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота, присвячена вирішенню актуальної задачі, розробці системи автоматичного керування роботом телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованих виробництв та проектування його прототипу.

У першому розділі було проведено аналіз сучасних прикладів роботів телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованих виробництв, їх основні функції та системи керування. Розглянуто та опрацьовано конструкції та форми сучасних роботів телеприсутності, а також методи спілкування між роботом та оператором. Були виявлені недоліки та переваги, які були враховані при проектуванні прототипу.

У другому розділі було розроблено узагальнену структуру схеми системи керування роботом телеприсутності, проведений аналіз та вибірку апаратних модулів виходячи із проведеного аналізу та отриманих переваг й недоліків. Спроектвано схему керування роботом телеприсутності на базі Raspberry Pi Zero 2w із LCD-дисплеєм RP2040. Було розроблено схему електричну принципову. Окрім цього, було розраховано передаточну функцію серводвигуна для MG996R. Завдяки проведеній роботів було зібрано прототип робота телеприсутності.

У третьому розділі було проведено аналіз середовища розробки та обрано мову програмування для написання коду системи автоматизованого керування роботом телеприсутності. Розроблено загальний алгоритм роботи робота телеприсутності та загальну структуру роботи. Розроблено алгоритм програми керування серводвигунами та представлені деякі елементи коду з поясненням. Розробка програми взаємодії з гугл сервером. Проведено експериментальне дослідження швидкості відображення графічних елементів на дисплеї. Проведено розрахунки освітлення у лабораторії.

Враховуючи актуальність даної теми для сучасних виробництв, дає змогу для впровадження майбутніх модифікацій, покращень та апгредів, а саме:

- заміну/додавання/збільшення кількості до прототипу серводвигунів, для підвищення гнучкості, рухливості та додавання нового функціоналу;
- розробка транспортної (рухливої) платформи для автоматизованого незалежного переміщення конструкції робота телеприсутності для комп'ютерно-інтегрованих виробництв;
- додавання мікрофона, камери та локаторів для повноцінного спілкування як між користувачами так і між роботом телеприсутності та користувачем;
- також можливе додавання великої кількості різних датчиків в залежності від вузької спеціалізації виробництва та опрацювання більшого об'єму інформації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст]. – Введ. 2015-06-22. – К.: Держстандарт України, 2017., 29 с.
2. Shmatko S.V. ANALYSIS OF MODERN TELEPRESENCE ROBOTS AS A HUMAN ASSISTANT // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices») ADED-2023 [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків: ХНУРЕ, 2024. – Вип. 2. – С. 87-91.
3. Winterstein, K., Keller, L., Huffstadt, K., Müller, N.H. (2021). Acceptance of Social and Telepresence Robot Assistance in German Households. In: Zaphiris, P., Ioannou, A. (eds) Learning and Collaboration Technologies: Games and Virtual Environments for Learning. HCI 2021. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12785. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77943-6_22
4. Офіційний сайт компанії Double Robotics, Inc.. URL: <https://www.doublerobotics.com> (дата звернення 15.09.2024)
5. Офіційний сайт компанії OHMNIlabs. URL: <https://www.ohmnilabs.com> (дата звернення 15.09.2024)
6. Офіційний сайт компанії Ava Robotics. URL: <https://www.avarobotics.com> (дата звернення 15.09.2024)
7. Офіційний сайт компанії Blue Ocean Robotics. URL: <https://suitabletech.com/> (дата звернення 15.09.2024)
8. Офіційний сайт компанії Vecna Robotics. URL: <https://www.vecnarobotics.com> (дата звернення 15.09.2024)

9. Офіційний сайт інтернет-магазину Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod1492-wi-fi-modyl-nodemcu-esp8266> (дата звернення 11.11.2024)
10. Офіційний сайт інтернет-магазину Evo в Україні. URL: <https://evo.net.ua/nucleo-g491re/> (дата звернення 11.11.2024)
11. Сайт Raspberry Pi Zero 2 W. URL: <https://oxorona.com/raspberry-pi-zero-2-w/> (дата звернення 11.12.2024)
12. Сайт серводвигун Arduino SG90 (Micro Servo motor) 2 кг. URL: <https://arduinokit.com.ua/ua/p1111355106-servoprivod-arduino-sg90.html?srsltid=AfmBOoqPbGz46YWXIFwSleN-Why8oeAvBfpXxiHw-A3AXWW6pWisfOrn> (дата звернення 11.12.2024)
13. Сайт Tower Pro MG90S micro servo 14g .URL: <https://www.mini-tech.com.ua/servomotor-mg90> (дата звернення 11.12.2024)
14. Сайт ervo MG996R. URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/servo-mg996r> (дата звернення 11.12.2024)
15. Сайт Waveshare RP2040 1.28inch Round Touch LCD Development Board (24580). URL: <https://evo.net.ua/ru/nabir-raspberry-pi-pico-1.28inch-round-touch-lcd-kit-24580/?srsltid=AfmBOoombX7y5CArq8-y9DSmzjY-vweD6PI9a8HYDC6dCNTvlhWvvpED> (дата звернення 11.12.2024)
16. Сайт 2.1 inch 480x480 Round IPS TFT LCD Display. URL: <https://newhavendisplay.com/2-1-inch-480x480-round-ips-tft-lcd-display/> (дата звернення 11.12.2024)
17. Сайт OLED LCD 1.3 дюйма білий SPI 7pin. URL: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=183&product_id=5576&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAx9q6BhCDARIsACwUxu5XLYFX7QimRiUL_hSTjm9-fA7wmQG467TnhvgSjGQ2q-D8qjoSzogaAmtBEALw_wcB (дата звернення 11.12.2024)

18. Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків : 2020. С. 257.
19. Nevliudov, I., & et al. (2022). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), IEEE, 61-64.
20. Mustafa S. K., Yevsieiev V., Nevliudov I., Lyashenko V., Alharbi A. R., and Rajeh W., HMI development automation with GUI elements for object-Oriented programming Languages implementation, *International Journal of Engineering Trends and Technology*. (2022) **70**, no. 1, 139–145, <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I1P215>.
21. Nevliudov, I., & et al.. (2020). Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(10), 7465-7473
22. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, Г.В. Пономарьова, А.О. Функендорф. Кривий Ріг: КК НАУ. 2018. – 332 с.