

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Фотограмметричний метод створення 3D моделей з
використанням автоматичного поворотного столу»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Комп'ютерні науки
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело*

(підпис)

Нікіта Пащенко
(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ здобувача)

Виконав:
здобувач вищої освіти
група КНДМ-62

Нікіта Пащенко

Керівник:
науковий ступінь,
вчене звання

Віталій КОТЕЛЯНЕЦЬ
К.Т.Н.,

Рецензент:
науковий ступінь,
вчене звання

(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Київ 2024

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерних наук

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність Комп'ютерні науки

Освітньо-професійна програма Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру Комп'ютерних наук

_____ Віктор ВИШНІВСЬКИЙ

«_____» _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

_____ Пащенко Нікіті Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Фотограмметричний метод створення 3D моделей з використанням автоматичного поворотного столу»

керівник кваліфікаційної роботи Віталій КОТЕЛЯНЕЦЬ к.т.н.

(Ім'я, ПРИЗВИЩЕ науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «15» жовтня 2024р. №320

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «15» грудня 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література з питань пов'язаних з фотограметрією та фотограметричними системами.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1. Теоретичні аспекти фотограметрії та автоматизованих систем.

4.2. Типи фотограметричних систем.

4.3. Реалізація та застосування фотограметричних систем.

5. Перелік графічного матеріалу: *презентація*

5.1 Вступ.

5.2 Мета, об'єкт та предмет дослідження.

5.3 Перспективи застосування фотограметричних систем.

5.4 Огляд основних компонентів системи: Arduino Uno.

5.5 Огляд основних компонентів системи: Raspberry Pi4 та PiCamera.

5.6 Спількування Raspberry Pi та Arduino Uno за допомогою serial port.

5.7 Блок-схема фотограметричної системи.

5.8 Створення 3D моделі прототипу.

5.9 Реалізований прототип системи.

5.10 Можливості для масштабування та покращення системи.

5.11 Висновки.

6. Дата видачі завдання «16» вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	16.09-27.09.24	Виконано
2	Дослідження поставленої задачі	30.09-11.10.24	Виконано
3	Аналіз існуючих методів вирішення задачі	14.10-25.10.24	Виконано
4	Вивчення особливостей взаємодії компонентів Arduino та Raspberry Pi	28.10-08.11.24	Виконано
5	Розробка коду та механіки системи	11.11-22.12.24	Виконано
6	Реалізація прототипу системи	25.11-29.11.24	Виконано
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	02.12-06.12.24	Виконано
8	Розробка демонстраційних матеріалів	09.12-13.12.24	Виконано

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Нікіта ПАЩЕНКО

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Віталій КОТЕЛЯНЕЦЬ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на здобуття освітнього ступеня магістра

здобувача(ки) вищої освіти _____ Пащенко Нікіта Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові)
на тему «Фотограметричний метод створення 3D моделей з використанням автоматичного поворотного столу»

Актуальність.

Постійне зростання потреби у високоточному й оперативному отриманні тривимірних моделей об'єктів різної природи обумовлює затребуваність автоматизованих рішень, здатних мінімізувати людський чинник і скоротити тривалість процесу зйомки. Тому тема розробленої бакалаврської роботи являється актуальною.

Позитивні сторони.

- 1. Магістерська робота виконана відповідно до поставленого завдання та в повному обсязі.*
- 2. В роботі чітко та стисло викладено основні принципи побудови сучасних фотограметричних систем, проведено аналіз існуючих систем. На науковому рівні розроблено систему автоматичного поворотного столу.*
- 3. Магістерська робота, її пояснювальна записка, графічний матеріал виконані з дотриманням відповідних вимог.*

Недоліки.

- 1. У роботі недостатньо представлено порівняльний аналіз із уже існуючими рішеннями чи аналогами.*
 - 2. Деякі аспекти налаштувань зйомки розглянуто досить стисло.*
- Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку магістерської кваліфікаційної роботи*

Висновок: *кваліфікаційна магістерська робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач (ка) Пащенко Н.О. заслуговує присвоєння кваліфікації: магістр з комп'ютерних наук.*

Рецензент: _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 82 стор., 26 рис., 13 джерел.

Наукове завдання – розробка прототипу фотограметричної системи для створення 3D моделей з використанням автоматичного поворотного столу.

Мета роботи – впровадження інтегрованої системи для автоматизованого отримання зображення об'єктів.

Об'єкт дослідження – процес отримання цифрових зображень об'єктів і побудова їхніх тривимірних моделей фотограметричними системами

Предмет дослідження – архітектура та програмно-апаратні рішення та алгоритми, що забезпечують роботу інтегрованої фотограметричної системи.

Методи дослідження – аналіз, класифікація, систематизація та узагальнення.

Короткий зміст роботи: Проведено детальний огляд методів створення 3D моделей з використанням автоматичного поворотного столу, включаючи апаратну та програмну частини, а також алгоритми та взаємодію з Arduino Uno та Raspberry Pi 4.

Проведено дослідження методу створення 3D-моделей з використанням автоматичного поворотного столу, що засвідчило його ефективність як одного з ключових інструментів для оптимального функціонування фотограметричних систем. Виявлено, що фотограметрична система є ефективною та має потенціал для застосування в різних сферах людської діяльності.

Ключові слова: фотограметрія, фотограметрична система, плата Arduino, мікрокомп'ютер Raspberry Pi.

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 82 pages, 26 pictures, 13 sources.

Scientific task is develop a photogrammetric system prototype for creating 3D models using an automatic turntable.

Goal of the work is implementation of an integrated system for automated object image acquisition.

Object of research – the process of obtaining digital images of objects and building their three-dimensional models using photogrammetric systems.

Subject of research – architecture, hardware-software solutions, and algorithms that enable the operation of an integrated photogrammetric system.

Research methods – analysis, classification, systematization, and generalization.

Summary of the work: A detailed analysis of methods for creating 3D models using an automatic turntable is presented, including hardware and software components as well as algorithms and their interaction with Arduino Uno and Raspberry Pi 4.

The study of the method for creating 3D models with an automatic turntable demonstrated its effectiveness as a key tool for optimal functioning of photogrammetric systems. It was revealed that the photogrammetric system is efficient and has the potential for application in various fields of human activity.

Keywords: photogrammetry, photogrammetric system, Arduino board, Raspberry Pi microcomputer.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ФОТОГРАМЕТРІЇ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ.....	10
1.1 Теоретичні основи: Вивчення та розуміння концепцій і принципів фотограметрії, основ автоматизації	10
1.2 Визначення функціональних та нефункціональних вимог до системи автоматизованої фотограметрії	11
1.3 Проєктування архітектури: Вибір оптимальної архітектурної моделі, розроблення структури та компонентів системи.....	13
1.4 Вибір технологій: Визначення мов програмування, фреймворків, бібліотек та інструментів розробки	16
1.5 Концепція та ключові етапи розробки інтегрованої фотограмметричної системи з автоматичним поворотним столом.....	19
1.6 Огляд робототехніки, плати Arduino Uno, мікрокомп'ютера Raspberry Pi та їх роль в системі	22
1.7 Розгляд роботизованої системи з алгоритмом слідування за лінією.....	24
2 ТИПИ ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ.....	39
2.1 Класифікація фотограметричних систем за принципом дії	39
2.2 Аналогові, аналітичні та цифрові фотограметричні системи	41
2.3 Стаціонарні та мобільні фотограметричні комплекси	44
2.4 Автоматизовані та роботизовані фотограметричні системи.....	48
2.5 Системи на базі автоматичного поворотного столу	50
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ	53
3.1 Фотограметричні системи в архітектурі, будівництві, аерофотограметрії, картографії, археології та промислових дослідженнях.....	53
3.2 Фотограметрична системи в культурній спадщині, туризмі, навчанні та дослідженнях	64
3.3 Реалізація системи.....	68
Висновки.....	79
Перелік посилань	80
Демонстраційні матеріали	82

ВСТУП

У сучасному світі фотограмметрія є однією з провідних технологій, що дозволяє отримувати високоточні та детальні тривимірні моделі найрізноманітніших об'єктів і їхнього оточення. Такий підхід широко застосовується в архітектурі, будівництві, геодезії, медицині та багатьох інших галузях, де важливо фіксувати форму й розміри об'єктів із максимальною точністю.

Для досягнення якісного результату при створенні 3D-моделей вирішальну роль відіграє спосіб і технологія збирання вихідних даних (фотознімків). Саме тому автоматизація процесу зйомки набуває особливої актуальності: вона не лише спрощує роботу оператора, а й забезпечує узгоджені умови знімання, що суттєво впливає на точність і швидкість подальшої обробки. Одним із перспективних рішень у цьому напрямку є поєднання фотограмметричних методів із автоматичним поворотним столом, завдяки чому система може самостійно створювати серію зображень під різними кутами і з різним положенням камери.

Метою даної дипломної роботи є дослідження можливостей фотограмметричного методу створення 3D-моделей з використанням автоматичного поворотного столу. Основна концепція полягає у розробленні системи, здатної автоматизувати процес збору зображень: об'єкт розміщується на поворотній платформі, а камера, встановлена на спеціальній конструкції, поетапно робить знімки зі всіх необхідних ракурсів.

Результатом стане система, яку можна буде впровадити у різних напрямках. Наприклад, у наукових дослідженнях і музеях така установка дасть змогу швидко та без зайвих зусиль створювати віртуальні копії об'єктів.

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ФОТОГРАМЕТРІЇ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

1.1 Теоретичні основи: Вивчення та розуміння концепцій і принципів фотограмметрії, основ автоматизації

Теоретичні основи розробки системи автоматизованої фотограмметрії з використанням поворотного столу охоплюють широкий спектр аспектів, необхідних для створення ефективного та надійного рішення.

Одним із ключових аспектів є процес обробки та аналізу фотограмметричних даних. Після збору зображень об'єктів за допомогою камери, встановленої на платформі, слід провести їх попередню обробку. Це включає видалення шумів, виявлення ключових точок і розпізнавання геометричних особливостей. Використовуючи алгоритми комп'ютерного зору та обчислювальної геометрії, дані аналізуються для визначення розмірів, форми та положення об'єктів.

Автоматизація процесу збору даних за допомогою поворотного столу потребує врахування точності й стабільності системи. Серед потенційних помилок артефакти, спричинені рухом об'єкта, похибки калібрування камери чи несинхронність між рухом столу та камерою. Для зменшення таких похибок необхідно виконати калібрування системи.

У сучасних фотограмметричних системах важливу роль відіграють технології штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML). Вони можуть бути застосовані для автоматичного розпізнавання об'єктів на зображеннях, класифікації даних, сегментації поверхонь та оптимізації процесу створення 3D-моделей. Використання таких технологій дозволяє значно зменшити вплив людського фактора та підвищити точність отриманих моделей.

Завершальним етапом є побудова тривимірної моделі об'єкта на основі отриманих зображень. Для цього застосовуються методи стереозору, побудови щільного хмари точок, апроксимації поверхонь та текстуровання. Отримана модель може бути використана для візуалізації, інженерного аналізу, збереження культурної спадщини або інтеграції у віртуальну реальність.

Розробка системи автоматизованої фотограмметрії також передбачає вибір відповідних апаратних та програмних інструментів. Серед них платформи для керування поворотним столом, програми для обробки зображень (наприклад, RealityCapture), інструменти для створення 3D-моделей (наприклад, Blender або Meshroom). Особливу увагу слід приділити інтеграції цих компонентів у єдину програмно-апаратну систему.

Таким чином, теоретична основа автоматизованої фотограмметричної системи базується на поєднанні знань з механіки, оптики, комп'ютерного зору, штучного інтелекту та програмної інженерії. Її правильне розуміння й використання є ключем до створення ефективного рішення, яке відповідає сучасним потребам і викликам у галузі тривимірного моделювання.

1.2 Визначення функціональних та нефункціональних вимог до системи автоматизованої фотограмметрії

Аналіз вимог є фундаментальною складовою процесу розробки системи автоматизованої фотограмметрії, оскільки саме на цьому етапі визначаються кінцеві цілі, завдання та характеристики майбутньої розробки. Збираючи очікування від зацікавлених сторін, розробники формують цілісне бачення того, як система має працювати, в якому середовищі її планують використовувати, і які обмеження можуть постати. Залучення фахівців у галузі фотограмметрії, робототехніки, програмного забезпечення та потенційних користувачів дозволяє визначити пріоритети проєкту та врахувати всі технічні й організаційні нюанси.

Функціональні вимоги орієнтують на визначення кола завдань, які повинен виконувати автоматизований комплекс. Мова йде про забезпечення безперервної зйомки об'єкта, синхронізації руху поворотного столу з моментом фотографування, а також можливості змінювати ракурс і висоту камери для складних форм. Надзвичайно важливо, щоб система у підсумку вміла автоматично будувати тривимірну модель на основі зібраних знімків, надаючи користувачам інструменти для подальшого опрацювання та аналізу отриманих результатів. До цього додається потреба в інтуїтивно зрозумілому інтерфейсі, адже в експлуатації можуть брати участь як досвідчені фотограмметристи, так і фахівці з суміжних галузей, які не мають глибоких технічних знань про фотограмметрію.

Нефункціональні вимоги стосуються того, наскільки зручною, продуктивною й надійною буде нова система. Серед них здатність швидко обробляти дані, залишаючись стабільною за умови великої кількості зображень високої роздільності; сумісність з популярним програмним забезпеченням для фотограмметрії; можливість адаптації під різні налаштування обладнання. Важливими факторами постають також вимоги щодо масштабованості, адже з часом користувачі можуть збільшувати обсяги задач або запроваджувати нові функції. Система має не лише залишатися оперативною при суттєвому зростанні обсягу даних, а й зберігати високу точність та якість вихідних моделей.

Під час визначення вимог необхідно враховувати потенційні обмеження, серед яких можуть бути розміри поворотної платформи, вантажопідйомність для великих об'єктів, апаратні можливості камер чи обчислювальних систем. Якщо передбачено використання додаткових сенсорів (ультразвукових, інфрачервоних, лазерних далекомірів), слід проаналізувати, як вони інтегруватимуться у загальну структуру. Важливим завданням стає узгодження вимог різних груп стейкхолдерів: розробники прагнуть стабільності, замовники функціонального багатства та швидкої віддачі, а користувачі простоти керування та надійності у роботі.

Не варто забувати й про аспекти відповідності правовим нормам та питання етики, особливо у сферах, пов'язаних із захистом персональних даних або збереженням культурної спадщини. Якщо система застосовується для оцифрування унікальних артефактів чи в медичних дослідженнях, потрібно чітко дотримуватися вимог конфіденційності, авторського права або регламентів щодо збирання та використання зображень.

Варто зазначити, що аналіз вимог не зводиться до формального опису специфікації. Це безперервний процес, під час якого команда постійно уточнює, коригує та поглиблює розуміння того, що від системи очікують і як вона повинна реагувати на різні сценарії. З'ясування деталей на цьому етапі суттєво знижує ризик, що на пізніших стадіях будуть виявлені кричущі суперечності або недоліки в архітектурі системи.

Підсумовуючи, аналіз вимог можна розглядати як перший і водночас найважливіший крок, де формується міцний фундамент для подальшої розробки. Завдяки ретельному опрацюванню функціональних та нефункціональних аспектів, команда розробників отримує чітке бачення того, як має виглядати автоматизована фотограмметрична система з використанням поворотного столу, якими можливостями вона мусить володіти і в якому напрямку її слід удосконалювати в майбутньому..

1.3 Проєктування архітектури: Вибір оптимальної архітектурної моделі, розроблення структури та компонентів системи

Проєктування архітектури програмного забезпечення для фотограметрії є одним із найважливіших етапів у всьому циклі розробки. Саме на цьому рівні визначається, як взаємодіятимуть між собою всі базові компоненти, яким чином вони обмінюватимуться даними та як реагуватимуть на виникаючі події чи помилки. Успішне проєктування залежить не лише від глибокого розуміння

технологічних аспектів, а й від ретельного врахування вимог користувачів, аналізу масштабів майбутньої системи та врахування цілого спектра нефункціональних характеристик.

Одним із перших кроків є вибір архітектурної моделі, найбільш придатної для вирішення поставлених завдань. Здавалося б, цей вибір полягає в простому порівнянні різних парадигм, як-от класична клієнт-серверна модель, мікросервісна архітектура чи навіть монолітний підхід. Однак справжня складність полягає у врахуванні великої кількості дрібниць і особливостей, що виявляються під час аналізу. Потрібно заздалегідь визначитися з обсягом даних, який оброблятиметься системою, типом користувачів, швидкістю й частотою запитів, можливістю паралельної обробки та ймовірністю непередбачуваних збоїв. Наприклад, у фотограмметричних проєктах, де генеруються сотні чи навіть тисячі зображень великої роздільної здатності, важливо передбачити, що система зіштовхнеться із серйозним навантаженням на пам'ять і процесори, а також з потребою швидкої обробки цих даних.

Клієнт-серверна модель дає змогу забезпечити централізоване зберігання, що часто зручно для управління великими обсягами інформації. З іншого боку, мікросервіси можуть виявитися незамінним рішенням, якщо планується швидке масштабування окремих компонентів (наприклад, для обробки зображень чи 3D-реконструкції), а також якщо є потреба в регулярних оновленнях та розширеннях. Практично, вибір між цими двома варіантами залежить від планованих навантажень і вимог до надійності. Якщо припускається, що користувачі будуть у різних часових поясах і матимуть дуже різні сценарії використання, система повинна зберігати свою стабільність навіть тоді, коли різні вузли отримують неочікувано великі обсяги даних чи запитів.

Після визначення загальної архітектурної моделі переходять до проектування структури системи. У випадку фотограмметричних проєктів, як правило, виділяють кілька основних блоків. Насамперед існує блок збору даних, який може відповідати за безпосереднє отримання зображень із камери чи, у разі

автоматизованої системи, за керування поворотним столом, синхронізацію знімання та корегування параметрів зйомки. Далі йде блок обробки зображень, де виконуються процедурні кроки на зразок калібрування, нормалізації чи «очищення» від шумів. На цьому ж рівні можуть працювати алгоритми комп'ютерного зору, які відстежують ключові точки, зшивають знімки та побудовують первинні сітки. Після цього потрібен компонент 3D-реконструкції, метою якого є формування повноцінної тривимірної моделі чи хмари точок. І нарешті передбачено збереження результатів, що може відбуватися в локальному сховищі або на віддаленому сервері, й надаватися для аналізу, візуалізації чи подальшого постпроцесингу.

Особливої уваги вимагає опис взаємозв'язків між цими компонентами, адже від того, як вони обмінюватимуться даними, залежить ефективність усього процесу фотограмметрії. Якщо збирання даних та 3D-реконструкція відбуваються в різних вузлах чи навіть у різних локаціях, потрібно забезпечити надійні механізми передачі файлів, можливо, використання асинхронних черг (наприклад, RabbitMQ чи Kafka) або API, що дозволить здійснювати виклики в режимі реального часу. Недостатній пропускний канал чи ненадійний протокол можуть призвести до затримок, втрати даних і, як наслідок, значно знизити якість створюваної моделі.

Процес проєктування передбачає моделювання архітектури за допомогою таких спеціалізованих діаграм, як діаграми компонентів, які наочно ілюструють «шматочки» програмного забезпечення та їхній взаємозв'язок; діаграми послідовності, що дають розуміння, у якому порядку викликаються модулі й методи; діаграми залежностей, які вказують на те, які зовнішні бібліотеки чи платформи можуть бути залучені; та діаграми розгортання, що демонструють фізичне розташування компонентів у мережі. Правильно складені діаграми дозволяють уникнути неочевидних помилок ще на етапі планування, коли код не почав писатися, а всі особливості можна проаналізувати логічно та в спрощеному вигляді.

Проектування архітектури неможливе без зосередження на таких аспектах як масштабованість, безпека, стійкість до помилок і продуктивність. Масштабованість особливо актуальна, якщо планується, що система оброблятиме значні обсяги зображень, можливо, навіть у режимі 24/7. Безпека може передбачати розмежування прав доступу до певних даних або процесів, що особливо важливо при роботі з чутливою інформацією (наприклад, у медичних або військових фотограмметричних системах). Стійкість до помилок означає, що необхідні механізми автоперезапуску критичних сервісів, логування збоїв та резервне збереження даних, аби в разі збою можна було швидко відновити роботу. Щодо продуктивності, то кожен компонент слід оптимізувати так, щоб користувачі не стикалися з надто тривалими затримками, це стосується як програмних обчислень, так і взаємодії з поворотним столом чи зовнішніми пристроями.

Етап проектування архітектури формує логічний та технічний фундамент, на якому будуватиметься вся система. Якщо на цьому етапі не врахувати різні сценарії використання, можливі пікові навантаження чи варіанти відмови обладнання, у майбутньому внесення суттєвих змін до вже написаного коду стане складним, а іноді й неможливим або надмірно витратним. Тому ретельний аналіз, планування та документування архітектури є базовими передумовами для успішної розробки та експлуатації високоякісного фотограмметричного програмного забезпечення, здатного надійно функціонувати в реальних умовах із великою кількістю користувачів і різноплановими вимогами.

1.4 Вибір технологій: Визначення мов програмування, фреймворків, бібліотек та інструментів розробки

Вибір технологій для створення фотограмметричної системи не можна звести до окремих рішень на кшталт "візьмемо Python чи C++". Це складний

багатовимірний процес, який передбачає глибоке розуміння вимог до продуктивності, архітектури, інтеграційних можливостей, а також особливостей робочого середовища та підготовки команди розробників. За кожним інструментом, мовою програмування чи фреймворком стоять певні компроміси: що швидше, що зручніше, що краще розвинуто з погляду екосистеми?

Одним із перших моментів є аналіз вимог до продуктивності. Фотограмметрія часто передбачає обробку великих масивів зображень, які можуть бути високої роздільної здатності. Це піднімає питання оптимізації, адже перетворення тисяч фотографій у 3D-моделі зазвичай потребує інтенсивних обчислень. У таких випадках C++ традиційно вважається фаворитом завдяки низькорівневому контролю за пам'яттю та відмінній швидкодії. Проте, якщо на перший план виходить розмаїття готових бібліотек чи швидкий прототип наукових алгоритмів, тоді Python стає привабливішим. Зокрема, завдяки великому вибору бібліотек для комп'ютерного зору (OpenCV), наукових обчислень (NumPy, SciPy) та машинного навчання (TensorFlow, PyTorch), Python надає велику гнучкість і можливості швидкої побудови складних моделей.

Крім вибору мови, важливо замислитися про ті фреймворки, що допоможуть досягти функціональних цілей проєкту. У сфері фотограмметрії вагому роль може відігравати OpenCV потужний інструментарій для обробки зображень і комп'ютерного зору. Він надає алгоритми, які дозволяють проводити калібрування камер, шукати ключові точки на знімках та виконувати різні перетворення зображень. Це дає змогу суттєво спростити задачу розробникам і зосередитися на логіці створення 3D-моделей. Якщо ж передбачається застосування методів машинного навчання, хоч би в мінімальному обсязі (наприклад, для автоматичного відсіву поганих знімків чи для поліпшення пошуку спільних точок), фреймворки на кшталт TensorFlow чи PyTorch забезпечать інфраструктуру для розробки та тренування таких моделей.

Не менш важливим аспектом виявляється питання візуалізації. Коли отримано 3D-модель або навіть проміжні результати аналізу зображень,

розробнику або користувачеві може знадобитися зручний спосіб переглянути ці дані. Тут приходять на допомогу такі бібліотеки, як `matplotlib`, `Plotly` чи інші засоби відтворення даних, які можуть надавати інтерактивні панелі та допомагають ефективно представити великі обсяги інформації. Якщо система призначена для складного аналізу чи презентування моделей у мережі, розглядаються веб-фреймворки (`Flask`, `Django`, `Node.js`) чи навіть спеціалізовані 3D-рушії, які дозволяють демонструвати об'єкти користувачам через браузер.

Одночасно з цим надзвичайно важливим стає питання організації робочого середовища. Код може створюватися у різних IDE (`PyCharm`, `Visual Studio Code`, `CLion` тощо), а кожне середовище забезпечує власний набір інструментів для автодоповнення, рефакторингу чи відлагодження. Вибір інструментів часто залежить від того, наскільки зручно окремим членам команди співпрацювати між собою. Наприклад, якщо хтось воліє працювати з `Python`, а інші з `C++`, можуть виникати певні труднощі в налаштуванні універсального середовища. Крім того, на масштабних проєктах майже завжди використовується система контролю версій (`Git`, `SVN`), яка дає змогу відстежувати зміни, працювати над різними гілками проєкту одночасно й зливати результати в основну гілку без ризику втратити важливий код.

Ще один аспект полягає у сумісності з уже існуючими в галузі стандартами й бібліотеками. У фотограмметрії застосовуються перевірені часом алгоритми та дані з різних джерел (камери різних виробників, сканери, `GPS`, `IMU`), тому важливо переконатися, що обрані інструменти підтримують потрібні формати й протоколи. Наприклад, якщо необхідно зчитувати файли в якому-небудь загальному стандарті (наприклад, `EXIF`-дані з камер чи `PLY/OBJ` для 3D-моделей), потрібно перевірити, чи передбачено відповідні модулі в бібліотеках, які розглядаються для використання.

Завершальним, але не менш значущим штрихом є підтримка та спільнота, яка стоїть за цими технологіями. Якщо у фреймворка багата документація та чимала спільнота (форумів, груп розробників, підручників), це може значно

спростити процес навчання, налагодження й розширення функціоналу. Система з маленькою спільнотою або без активного оновлення може створити проблеми в довгостроковій перспективі, коли через рік-два виникнуть критичні помилки чи сумісність із новими версіями ОС.

Вибір технологій базується далеко не лише на одному пункті «швидкість виконання коду» чи «зручність реалізації». Це багатосторонній аналіз, що охоплює підбір мов програмування, добір фреймворків для обробки та машинного навчання, визначення способів візуалізації, організації процесу розробки та контролю версій, а також питання інтеграції з іншими системами та підтримки стандартів. Лише ретельно зваживши всі плюси й мінуси, проєктна група може обрати ту комбінацію інструментів, яка забезпечить оптимальний баланс між продуктивністю, простотою реалізації й гнучкістю у майбутньому. Такий обдуманий підхід у підсумку гарантує, що програмне забезпечення для фотограмметрії буде ефективним, якісним і готовим до розв'язання широкого спектра складних завдань..

1.5 Концепція та ключові етапи розробки інтегрованої фотограмметричної системи з автоматичним поворотним столом

Цей розділ присвячений формуванню та конкретизації головного напрямку проєкту, у рамках якого передбачається створення інтегрованої системи для автоматизації процесу фотозйомки об'єктів. Кінцевою метою є отримання високоякісних вихідних даних, на основі яких за допомогою фотограмметрії можна збудувати точні 3D-моделі. Такий підхід покликаний вирішити одразу кілька критичних питань: зменшення впливу людського фактора, підвищення точності та послідовності зйомки, а також мінімізація часових витрат на попередню обробку фотографій. Головна ідея полягає в тому, що об'єкт, який потрібно оцифрувати, розміщується на автоматичному поворотному столі,

керованому платою Arduino Uno, тоді як мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 відповідає за функціонування камери. Завдяки такому розділенню обов'язків кожна складова системи може виконувати вузькоспеціалізовану задачу, а разом вони створюють повноцінний комплекс.

Основним завданням залишається розробка програмного забезпечення, яке б узгоджувало роботу всіх складників, починаючи від точного позиціонування поворотного столу та закінчуючи збереженням масиву знімків на карту пам'яті. Успішне поєднання цих дій дасть змогу сформувати послідовний набір фотографій з різними ракурсами, з якого подальше програмне забезпечення фотограмметрії зможе відновити тривимірну структуру об'єкта. Синхронність між обертанням столу та моментом спрацьовування затвора камери є визначальною: варто зсунути фазу на якусь частку секунди, і зображення можуть виявитися змащеними або охоплювати лише частину об'єкта, що значно зменшить якість кінцевої 3D-моделі.

Реалізація цього функціоналу базується на двох ключових апаратних елементах. Першим є плата Arduino Uno, яка, завдяки вбудованому мікроконтролеру та простому інтерфейсу програмування, відповідає за обертання столу. Сама плата взаємодіє з кроковим двигуном Nema17 через драйвер AFMotor, що дає змогу впевнено керувати швидкістю обертання та точністю позиціонування. Кроковий двигун, у свою чергу, забезпечує покадрове переміщення столу, дозволяючи роботі задавати бажаний кут повороту з високою роздільністю. Така гнучкість відкриває можливість налаштування різноманітних сценаріїв зйомки: чи це один оберт із фіксованим кроком, чи декілька обертів з різними кутовими інтервалами, чи узагалі робота в режимі «за вимогою», де Arduino реагуватиме на зовнішні сигнали.

Другим базовим компонентом є мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4, який узяв на себе функцію керувати камерою. Завдяки наявності бібліотек serial, time та picamera2, розробники отримують гнучкі засоби для контролю зйомки, починаючи від налаштувань витримки, експозиції і закінчуючи, власне, моментом

спуску затвора. Тут же виконується збереження зображень на карту пам'яті. Така модульна розробка дає змогу розподілити завдання між двома незалежними пристроями: тоді Arduino розв'язує задачу мікрокерування двигуном і сенсорами (якщо вони потрібні), а Raspberry Pi зосереджується на високорівневій логіці знімання та збереження даних. Це забезпечує кращу стабільність системи й уникнення потенційних конфліктів.

Після того як основна розробка програмного забезпечення та апаратна інтеграція будуть завершені, обов'язковим етапом стає тестування в реальних умовах. Зокрема, важливо перевірити, наскільки точно обертається поворотний стіл, чи виконується знімання у правильний момент, чи достатньо чітко відпрацьовує кроковий двигун і чи немає пропусків кроків або вібрацій. Якість отриманих зображень є критичною: якщо на знімках занадто багато шуму, розмитостей чи не вистачає освітлення, фотограмметрична реконструкція може зіштовхнутися зі складнощами при пошуку та зіставленні ключових точок. Надійність самого процесу реконструкції також перевірятиметься, аби впевнитися, що програма правильно розпізнає спільні особливості на послідовних кадрах і формує якісну 3D-модель.

Під час тестування система може бути випробувана на об'єктах з різною складністю. Простим кейсом може бути звичайна «коробочка» або простий геометричний предмет із чіткими гранями, тоді як більш складним варіантом стануть об'єкти із великою кількістю дрібних деталей, кутових елементів або складною рельєфною поверхнею. Аналіз результатів зйомки та якості побудованих 3D-моделей дозволить не лише оцінити правильність роботи, а й визначити, де можна або навіть треба вдосконалити алгоритми керування рухом чи саме програмне забезпечення.

Підсумком та логічним завершенням роботи стане створення цілісної та практично придатної фотограмметричної системи, котра поєднує автоматичний поворотний стіл, камеру та алгоритми обробки зображень у єдине рішення. Завдяки інтеграції такого обладнання й ПЗ вдасться істотно спростити процес

формування 3D-моделей, адже користувач фактично отримує можливість натиснути «Пуск», а всі етапи, від налаштування ракурсів до збереження набору зображень і їхнього подальшого аналізу відбуватимуться за наперед визначеним алгоритмом. Це не лише підвищує точність зйомки, а й скорочує час, потрібний для сканування, оскільки немає потреби вручну переставляти об'єкт чи контролювати кут зйомки.

Загалом, очікується, що запропонована система допоможе значно прискорити і полегшити створення детальних тривимірних моделей у різних галузях, де фотограмметрія знаходить своє застосування: від досліджень археологічних артефактів до проєктування промислових деталей. Надійний та автономний механізм обертання у поєднанні з ретельно розробленим програмним забезпеченням гарантує рівномірне охоплення та відтворення об'єкта, а також усуває можливі помилки, пов'язані з людським фактором, які могли б виникнути під час ручного керування процесом. Це створює передумови для суттєвого покращення ефективності роботи й підвищення точності результатів, що особливо важливо у високоточних застосуваннях, де вада навіть у кілька десятків міліметрів може бути критичною.

Таким чином, можна зробити висновок, що основна мета даного дослідження, це побудова інтегрованої системи з автоматичним поворотним столом і алгоритмами фотограмметрії, це цілком досяжна за умови правильної організації розробки, тестування та подальшого вдосконалення функціоналу. Отриманий результат не лише автоматизує процес фотозйомки, а й дозволить розширити горизонти фотограмметрії, роблячи її більш доступною і менш залежною від складності чи тривалості ручних операцій.

1.6 Огляд робототехніки, плати Arduino Uno, мікрокомп'ютера Raspberry Pi та їх роль в системі

Робототехніка є важливим напрямом сучасних інженерних технологій, що забезпечує автоматизацію й оптимізацію різноманітних процесів у промисловості, наукових дослідженнях та повсякденному житті. У контексті фотограмметрії робототехніка дозволяє суттєво підвищити точність і стабільність процесу зйомки об'єктів, що особливо важливо під час створення 3D моделей. Завдяки автоматизації вдається отримувати великі масиви зображень з різноманітних ракурсів без значних затрат часу й ресурсів.

Фотограмметрія передбачає фіксацію об'єкта на послідовних знімках з подальшим аналізом і обробкою цих зображень. У результаті формується детальна тривимірна модель, яка дає змогу точно оцінити розміри, форму та особливості досліджуваного об'єкта. Застосування автоматизованого поворотного столу в цьому процесі звільняє оператора від необхідності вручну змінювати положення об'єкта, що робить процес зйомки зручнішим і ефективнішим.

Плата Arduino Uno є одним із ключових елементів системи, оскільки вона виконує роль мікроконтролера, який керує обертанням поворотного столу. Завдяки наявності вхідно-вихідних пінів і можливості підключення до крокових або серводвигунів ця плата дає змогу точно задавати кут і швидкість обертання. Простий синтаксис мови програмування в середовищі Arduino IDE полегшує розробку та відлагодження алгоритмів, необхідних для безперебійної роботи системи.

Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 у цій конфігурації виконує функції центрального мозку системи. Він відповідає за обробку даних, керування камерою та збереження зображень. Завдяки потужному процесору ARM Cortex-A72 і достатньому обсягу оперативної пам'яті Raspberry Pi 4 здатен одночасно обробляти складні алгоритми та передавати результати зйомки для їх подальшого

аналізу. Вбудований порт CSI спрощує підключення камери без додаткових адаптерів, а наявність бездротового зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth) забезпечує гнучкість в організації віддаленого керування та передачі даних.

Взаємодія між Arduino Uno та Raspberry Pi 4 полягає у злагодженій координації руху поворотного столу й увімкненням камери для отримання послідовних зображень об'єкта. Arduino Uno визначає чітку траєкторію або послідовні кути обертання, а Raspberry Pi 4 в потрібний момент надсилає команду на зйомку і зберігає відзняті файли. Такий підхід унеможливорює пропуск будь-яких важливих ракурсів і зменшує ризик виникнення похибок під час процесу.

Застосування автоматичного поворотного столу дає змогу досягти високої точності у визначенні просторового положення кожного ракурсу. Це позитивно впливає на результат фотограмметрії, адже отримані дані суттєво знижують імовірність появи артефактів під час побудови тривимірної моделі. Крім того, зростає швидкість процесу, бо система не вимагає ручного налаштування або втручання оператора на кожному етапі зйомки.

Таким чином, поєднання робототехнічних принципів із фотограмметрією та застосуванням апаратних рішень у вигляді плати Arduino Uno й мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4 є основою для створення сучасної автоматизованої системи. Вона забезпечує високу швидкість і стабільність процесу зйомки та формування 3D моделей, що відкриває широкі перспективи для подальшого застосування в наукових дослідженнях, виробництві й інших сферах людської діяльності.

1.7 Розгляд роботизованої системи з алгоритмом слідкування за лінією

У фотограметричній системі, плата Arduino Uno використовує бібліотеку AFMotor для керування рухом робота. Ця бібліотека забезпечує зручний спосіб контролю двигунів різних типів, що дозволяє точно керувати рухом робота по заданому колу. Тим не менш, для її застосування потрібно використовувати

спеціальний Arduino shield певної версії в залежності від версії бібліотеки. На рисунку 1.1 відображена плата Motor Shield V1, яку ми будемо використовувати [4, с. 4].

У цієї плати є входи для чотирьох DC двигунів, або двох шагових двигунів. Також там є два додаткових входи для серводвигунів та подача зовнішнього живлення.

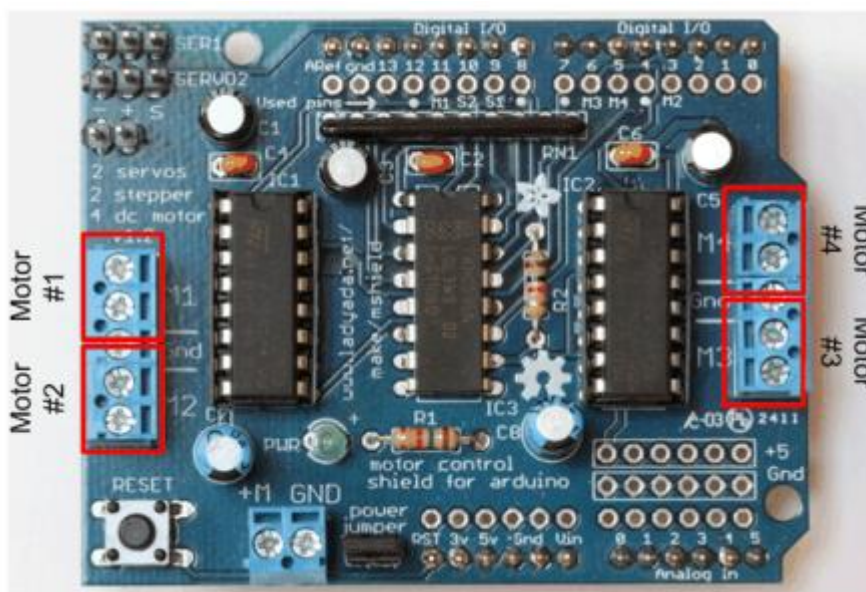


Рисунок 1.1 – Motor Shield V1

Використання бібліотеки AFMotor дозволяє програмно налаштовувати параметри руху, такі як швидкість, напрямок та кількість кроків. Завдяки цьому, робот може прямувати по лінії з точністю та стабільністю.

Програмування руху робота з використанням бібліотеки AFMotor досить просте та інтуїтивно зрозуміле. Розробнику потрібно використовувати функції та методи, надані бібліотекою, для налаштування та контролю руху робота. Це дозволяє зосередитись на інших аспектах проєкту, таких як обробка зображень та фотограметричний аналіз. На рисунку 1.2 приведено приклад ініціалізації двигунів, він необхідний для того, щоб можна було почати контролювати двигуни [4, с. 4].

Example:

```
AF_DCMotor motor4(4); // define motor on channel 4 with 1KHz default PWM
AF_DCMotor left_motor(1, MOTOR12_64KHZ); // define motor on channel 1 with 64KHz
PWM
```

Рисунок 1.2 – Приклад ініціалізації двигунів

В залежності від того яка швидкість обертання нам потрібна ми можемо її змінювати. Приклад налаштування швидкості двигунів зображено на рисунку 1.3 [4, с. 4].

Example:

```
Stepper1.setSpeed(10); // Set motor 1 speed to 10 rpm
Stepper2.setSpeed(30); // Set motor 2 speed to 30 rpm
```

Рисунок 1.3 – Приклад налаштування швидкості двигунів

Для того щоб двигуни почали обертатися потрібно застосувати `motor.run()` та вписати у дужки напрямок обертання. Приклад старту, зупинки, а також зміни напрямку обертання двигунів представлено на рисунку 1.4 [4, с. 5].

Example:

```
motor.run(FORWARD);
delay(1000); // run forward for 1 second
motor.run(RELEASE);
delay(100); // 'coast' for 1/10 second
motor.run(BACKWARDS); // run in reverse
```

Рисунок 1.4 – Приклад старту та зупинки,
зміни напрямку обертання двигунів

Загалом, використання бібліотеки `AFMotor` у проєкті фотограметричної системи значно спрощує керування рухом платформи та забезпечує точність та надійність його рухів. Вона є потужним інструментом, що допомагає реалізувати концепцію проєкту та забезпечує ефективну роботу системи у роботизованому

фотограметричному процесі. Це дозволяє реалізувати складні рухові шаблони та забезпечити потрібну прецизію рухів.

Бібліотека `time` виконує важливу роль в проєкті, дозволяючи керувати часом та затримками в програмі. Вона забезпечує різноманітний функціонал, який дозволяє точно вимірювати час, регулювати послідовність подій та встановлювати затримки для досягнення потрібної синхронізації та координації дій.

Однією з головних можливостей цієї бібліотеки є отримання поточного часу. Вона надає функції, які дозволяють отримати точний момент часу, включаючи години, хвилини, секунди та навіть мілісекунди. Це особливо корисно, коли потрібно виконати певні дії в певні моменти часу або засвідчити послідовність подій.

Бібліотека також надає засоби для вимірювання проміжків часу. Це означає, що можна визначити, скільки часу пройшло з певного моменту або між двома подіями. Це важливо для визначення часових інтервалів між діями робота, такими як переміщення по колу та зйомка фотографій. Вимірювання проміжків часу дозволяє точно синхронізувати рух робота та виконання фотографування, забезпечуючи потрібну точність та координацію. Частіше за все ми будемо використовувати функцію `time.sleep(secs)` для переходу програми у сплячий режим [10].

Додатково, бібліотека `time` надає зручні засоби для роботи зі затримками. Затримки дозволяють програмі тимчасово зупинитися на певний період часу перед продовженням виконання. Це може бути корисно для контролю частоти зйомок фотографій, створення пауз між рухом робота та зйомкою, або синхронізації з іншими пристроями або подіями.

Загалом, використання бібліотеки `time` дозволяє програмувати точні затримки та контролювати часові інтервали у проєкті. Вона гарантує, що робот буде виконувати дії в потрібні моменти та з потрібною послідовністю, що забезпечує ефективність та надійність фотограметричної системи. Бібліотека `time`

також надає можливість здійснювати точну синхронізацію між роботом і зйомкою.

В рамках проєкту розробки роботизованої фотограметричної системи використання бібліотеки `picamera2` відіграє значну роль, надаючи широкий спектр можливостей для управління камерою Raspberry Pi та здійснення фотографування об'єктів та сцен. На рисунку 1.5 продемонстровано Raspberry Pi з підключеною камерою [11, с. 4].



Рисунок 1.5 – Raspberry Pi з підключеною камерою

Бібліотека `picamera2` забезпечує зручні програмні інтерфейси для зчитування зображень з камери Raspberry Pi, включаючи можливість налаштовувати різноманітні параметри зйомки. Це означає, що ви можете контролювати роздільну здатність, експозицію, баланс білого, фокусування та інші важливі параметри фотографії. Ви можете відрегулювати ці параметри відповідно до конкретних вимог проєкту та отримати бажані результати зйомки.

Окрім налаштування параметрів, бібліотека `picamera2` також забезпечує можливість зберігати зображення у різних форматах, таких як JPEG або PNG. Це важливо, оскільки різні формати збереження можуть мати вплив на якість та

розмір файлів зображень. Ви можете вибрати формат, який найкраще відповідає вашим потребам щодо збереження та подальшого використання фотографій.

Бібліотека `picamera2` також дозволяє програмно керувати функціями камери Raspberry Pi. Ви можете автоматизувати процес зйомки, використовуючи програмний код для установки певних параметрів та здійснення фотографій. Це дає вам гнучкість у керуванні процесом зйомки та забезпечує повний контроль над камерою під час роботи робота. На рисунку 1.6 зображено код для старту вікна попереднього перегляду у реальному часі з мінімальними витраченими ресурсами мікрокомп'ютера [7].

```
picam2.start_preview(Preview.QTGL)
picam2.start()
```

Рисунок 1.6 – Приклад коду для старту вікна попереднього перегляду

Огляд бібліотеки `picamera2` підкреслює її важливість як ключового компонента проєкту фотограметричної системи. Завдяки своєму розширеному функціоналу, вона дозволяє досягти якісного зображення об'єктів та сцен, необхідного для подальшої фотограметричної обробки та аналізу. Використання бібліотеки `picamera2` робить проєкт більш ефективним та функціональним, забезпечуючи надійне керування камерою Raspberry Pi та отримання високоякісних зображень.

У процесі розробки фотограметричної системи, використання бібліотеки `serial` для спілкування між платою Arduino Uno та мікрокомп'ютером Raspberry Pi відіграє важливу роль у забезпеченні ефективної комунікації та обміну даними між цими двома пристроями.

Бібліотека `serial` надає набір функцій, які дозволяють передавати та отримувати дані через послідовний порт, який з'єднує Arduino Uno та Raspberry Pi. Цей послідовний порт використовується для передачі інформації з одного пристрою до іншого з використанням послідовної комунікації.

Використання бібліотеки `serial` у проєкті дозволяє встановити зв'язок між Arduino Uno та Raspberry Pi, створюючи канал комунікації, через який обидва пристрої можуть обмінюватися даними [11]. Це важливо для реалізації взаємодії між роботом і керуючим пристроєм.

Arduino Uno і Raspberry Pi можуть спілкуватися один з одним за допомогою стандартних послідовних портів (протоколів) USB, UART, I2C, SPI. Однак усі вони, окрім USB, зазвичай потребують певної форми схеми зсуву рівня, оскільки плати Arduino Uno використовують 5В GPIO, а Raspberry Pi – 3,3В [13]. Найпростіше всього використовувати USB кабель для забезпечення послідовного зв'язку. На рисунку 1.7 продемонстровано схему підключення плат Raspberry Pi та Arduino Uno [9].

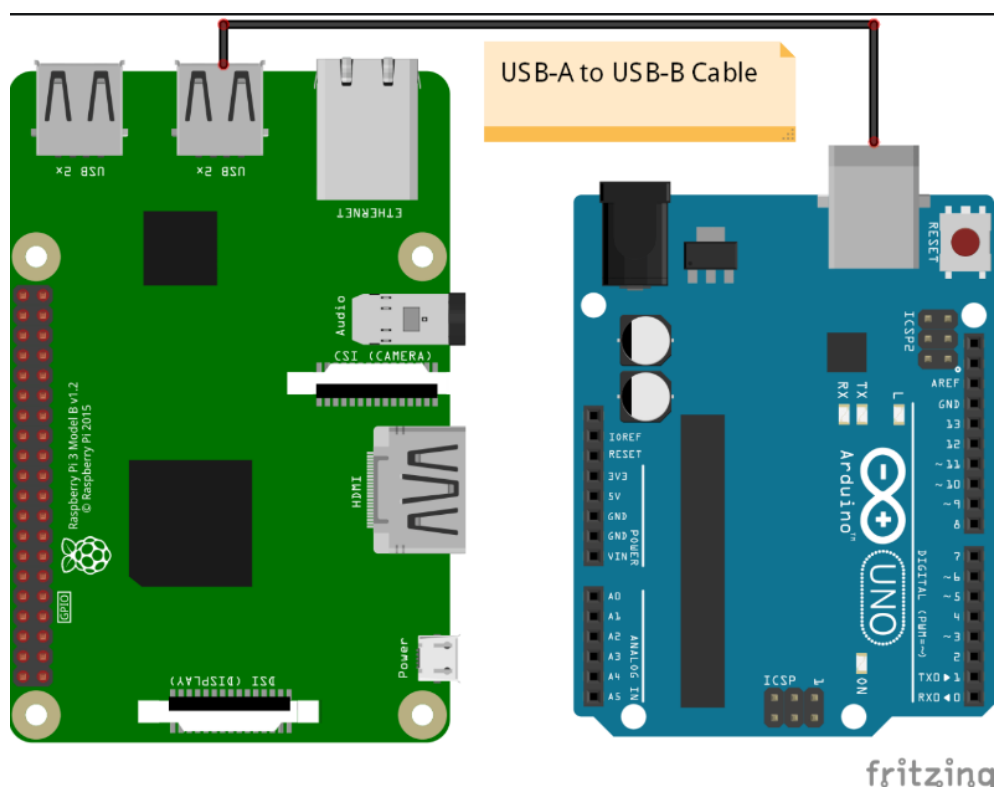


Рисунок 1.7 – Схема підключення Raspberry Pi до Arduino Uno через USB-A to USB-B кабель

За допомогою бібліотеки `serial`, Raspberry Pi може передавати команди руху робота до Arduino Uno. Наприклад, команда може включати в себе інструкції щодо напрямку руху, швидкості або точки призначення. Arduino Uno отримує цю

команду через послідовний порт, розшифровує її та виконує відповідні дії для керування рухом робота.

Крім того, бібліотека `serial` дозволяє отримувати дані з Arduino Uno на Raspberry Pi. Це важливо для отримання інформації з різних датчиків або пристроїв, що встановлені на роботі. Raspberry Pi може отримувати дані з Arduino Uno через послідовний порт, а далі обробляти ці дані для подальшого використання в процесі фотограметрії або збереження. Щоб плати могли спілкуватися між собою потрібно для початку ініціалізувати послідовний зв'язок та обрати швидкість передачі даних. На рисунку 1.8 зображено приклад коду для відправки повідомлення через серійний порт [8].

```
1. void setup() {  
2.   Serial.begin(9600);  
3. }  
4.  
5. void loop() {  
6.   Serial.println("Hello from Arduino!");  
7.   delay(1000);  
8. }
```

Рисунок 1.8 – Приклад коду Arduino Uno для відправки повідомлення через серійний порт

Для того, щоб Raspberry Pi могла сприймати повідомлення через серійний порт потрібно теж ініціалізувати послідовний зв'язок, вписати назву порту через який проходить з'єднання та встановити однакову швидкість передачі даних на обох пристроях. Приклад коду вищеописаного зазначений на рисунку 1.9, це допоможе отримати повідомлення через серійний порт Raspberry Pi [9].


```

1.  #!/usr/bin/env python3
2.  import serial
3.
4.  if __name__ == '__main__':
5.      ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600, timeout=1)
6.      ser.reset_input_buffer()
7.
8.      while True:
9.          if ser.in_waiting > 0:
10.             line = ser.readline().decode('utf-8').rstrip()
11.             print(line)

```

Рисунок 1.9 – Приклад коду Raspberry Pi для отримання повідомлень через серійний порт

Бібліотека serial спрощує програмування та налагодження взаємодії між Arduino Uno та Raspberry Pi. Вона надає зручний інтерфейс для передачі та отримання даних, який дозволяє розробникам легко обмінюватися інформацією між цими двома пристроями. Завдяки використанню бібліотеки serial, розробники можуть зосередитися на іншій функціональності системи та забезпечити ефективну взаємодію між апаратними компонентами проєкту.

Огляд попередньої розробки роботизованої фотограметричної системи:

Для того, щоб робот міг виявити лінію використовувались два інфрачервоних датчики наближення. На основі отриманих даних від датчиків, Arduino коригував напрямок та швидкість двигунів у цьому допомагав спеціальний Motor Shield. Інфрачервоні датчики наближення розміщені з обох боків у передній частині робота.

У базовому варіанті алгоритму існує всього чотири можливі результати, які впливають на реакцію моторів в залежності від вимірів датчиків. У більш складних версіях алгоритму може бути більше результатів, через те що там встановлено чотири датчики замість двох.

На рисунку 1.10 приведено перший випадок, коли два датчики не виявляють лінію, тоді обидва двигуни обертаються вперед. Це означає, що робот виявляє

відсутність лінії під обома сенсорами і продовжує рухатися вперед, зберігаючи свій напрямок [1].

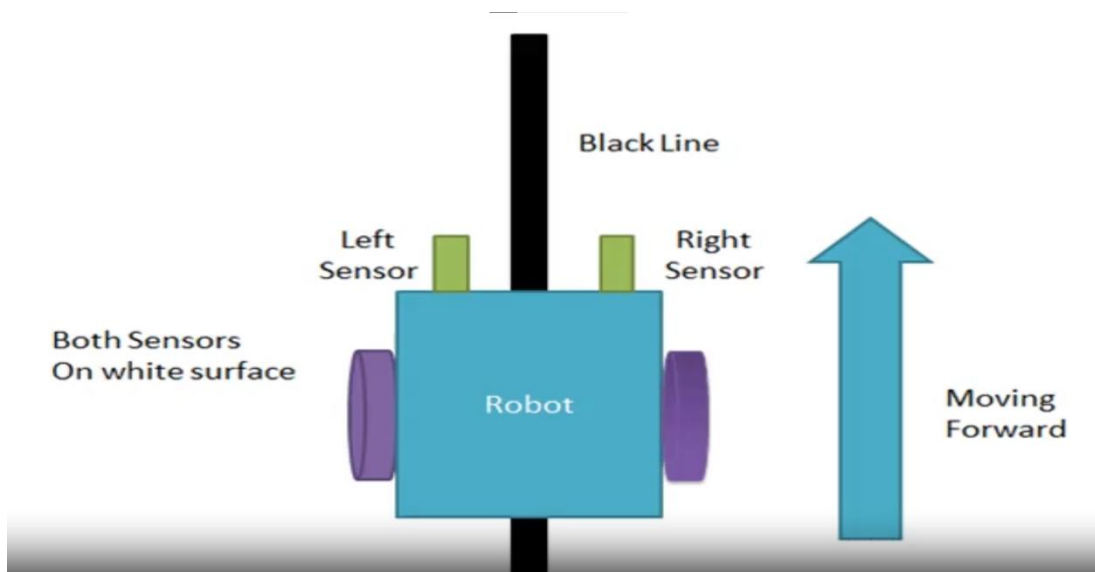


Рисунок 1.10 – Обидва датчики на виявляють лінію, обидва двигуни обертаються вперед

У другому випадку, який зображено на рисунку 1.11 тільки лівий датчик бачить лінію, це означає, що робот повинен повернути вліво. Для цього лівий двигун обертається назад, а правий – вперед. В результаті чого робот повертає ліворуч [1].

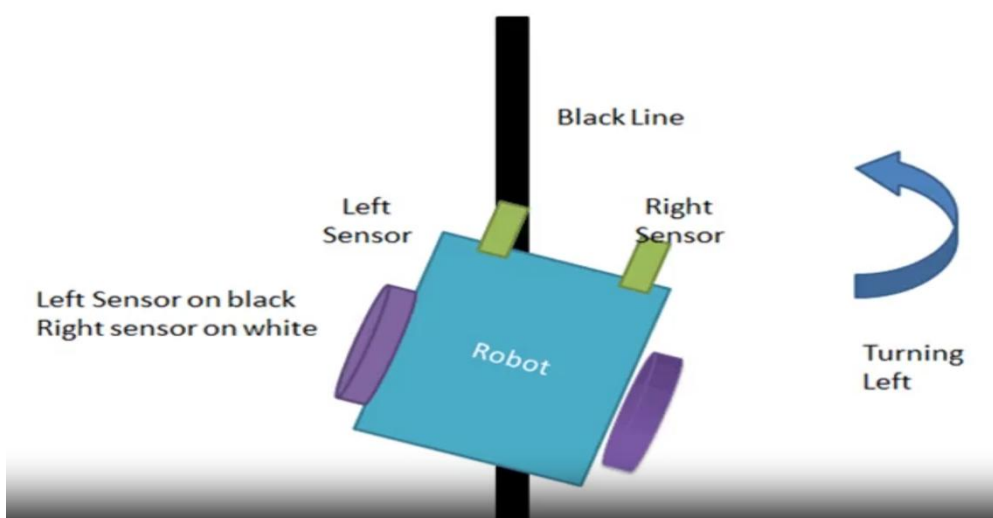


Рисунок 1.11 – Лівий датчик бачить лінію, лівий двигун обертається назад, а правий – вперед

На рисунку 1.12 зображено третій випадок, у цьому разі тільки правий датчик бачить лінію, це означає, що робот повинен повернути направо. Лівий двигун обертається вперед, а правий – назад. У результаті робот повертає праворуч [1].

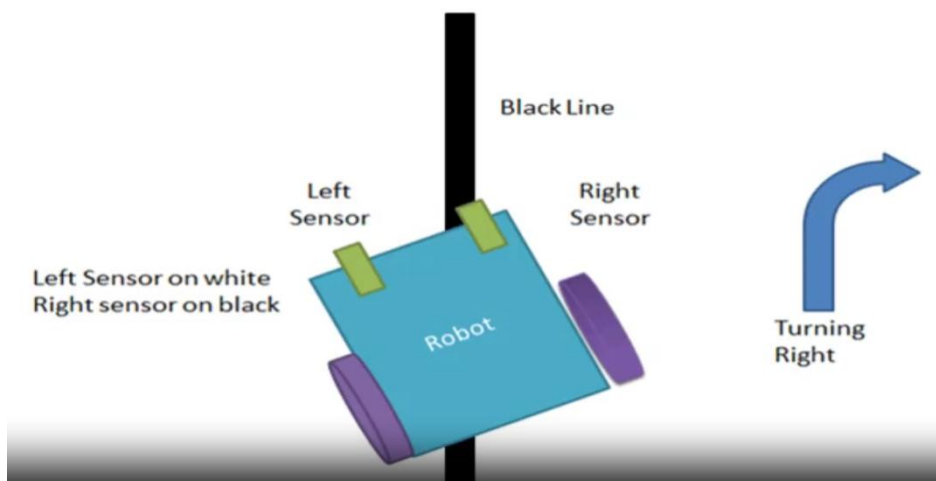


Рисунок 1.12 – Правий датчик бачить лінію, лівий двигун обертається вперед, а правий – назад

Такий алгоритм керування заснований на використанні датчиків та ефективно вирішує завдання трасування лінії, дозволяючи точно рухатися по запланованому шляху навколо об'єкту, що досліджується або фотографується.

У останньому випадку, який зазначено на рисунку 1.13 обидва датчики виявляють лінію. Обидва двигуни перестають обертатися. Це означає, що робот проїхав трасу і йому треба зупинитися [1].

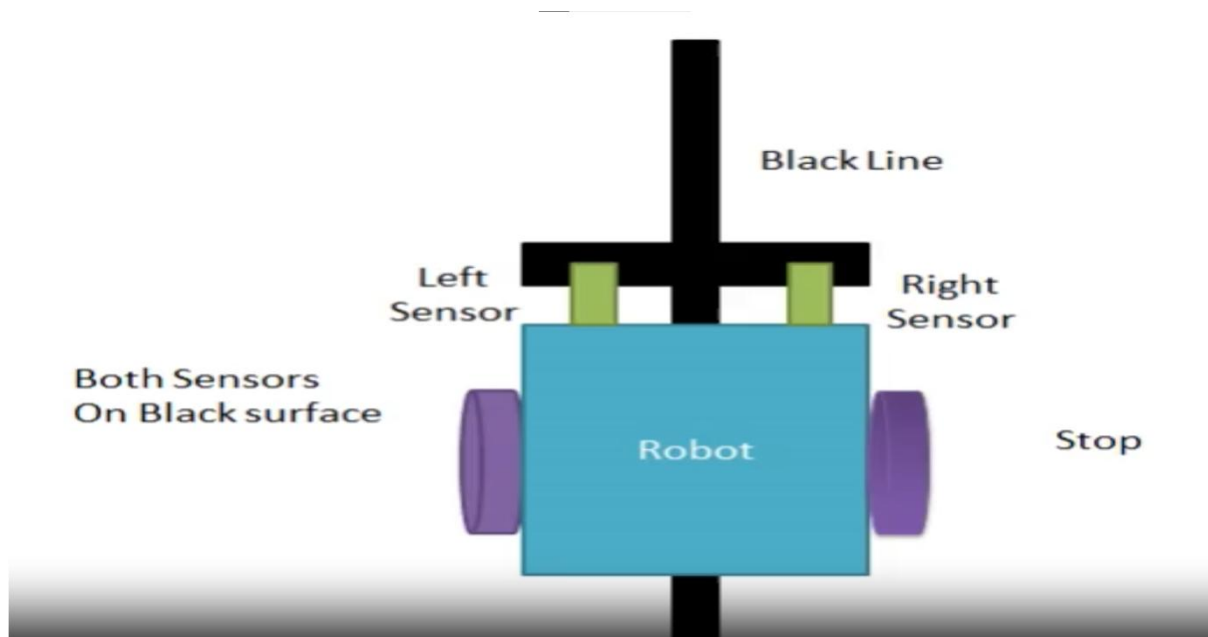


Рисунок 1.13 – Обидва датчики виявляють лінію, обидва двигуни перестають обертатися.

Кожен з цих сценаріїв дозволяє роботу визначати свій подальший рух, залежно від виявлених даних датчиків. Таким чином, алгоритм дозволяє роботу точно слідкувати за лінією та здійснювати потрібні корекції руху для підтримання прямого напрямку.

Для покращення точності та надійності можна використовувати додаткові сенсори та датчики, які забезпечують більш детальну інформацію про навколишнє середовище. Наприклад, датчики відстані можуть допомогти уникати перешкод або стежити за відстанню до об'єктів. Камери з високою роздільною здатністю можуть допомогти збирати більш докладні дані для фотограметрії.

Незважаючи на те, що розроблена роботизована платформа демонструє досить непогані результати у відстеженні лінії та точному переміщенні навколо об'єкта, який необхідно дослідити чи фотографувати, існують певні аспекти, що обмежують її ефективність у складнішому або менш передбачуваному середовищі. Усі механізми роботи в значній мірі спираються на наявність чітко окресленої лінії на поверхні, за якою робот має рухатися. Такий підхід,

безумовно, забезпечує відносну стабільність і простоту у випадках, коли лінія є контрастною та прокладеною без розривів чи надто крутих поворотів.

Проте важливо зазначити, що за будь-яких змін у навколишньому середовищі поганого освітлення, стирання контурів лінії, пошкодження поверхні або часткової відсутності маркувальних смуг точність руху різко знижується. Це пов'язано з тим, що чинна апаратно-програмна реалізація не здатна ефективно підлаштовуватися під змінні умови, адже вона орієнтована виключно на роботу з чітко намальованим шляхом. Коли ж лінія стає менш контрастною чи зникає на певному відрізку, датчики можуть «губити» сигнал, у результаті чого робот починає рухатися наосліп, втрачаючи задану траєкторію.

Ще одним фактором є швидкість пересування. Оскільки апаратура повинна мати достатньо часу на обробку сигналів від сенсорів, робот змушений рухатися доволі повільно, щоб гарантовано встигати коригувати курс. При спробі збільшити швидкість пересування, наприклад, для скорочення загального часу зйомки чи інспекції, виникає ризик, що система не встигатиме коректно розпізнавати лінію та реагувати на відхилення. У реальних сценаріях, де лінія може мати різні вади або бути частково закритою перешкодами, ця проблема стає особливо помітною.

Додатково, залежність виключно від лінії на поверхні означає, що система дуже чутлива до якості та стану самої розмітки. Якщо фарба, крейда або стрічка, якими нанесено лінію, в певних місцях пошкоджені, затерті чи вицвіли, або ж коли поверхня нерівномірно освітлена, робот може невірно інтерпретувати дані сенсорів. Це призводить до постійних дрібних похибок, накопичення яких поступово збільшує відхилення від траєкторії. Як наслідок, знижується точність позиціонування при зйомці об'єкта, що особливо критично для фотограмметричних задач, де потрібне стабільне дотримання відстані та ракурсу.

Крім того, варто відзначити, що така система не має достатньої універсальності в інших, більш динамічних умовах. Скажімо, якщо планується проводити зйомку у складному приміщенні чи на вулиці, де не завжди можна

прокласти або намалювати чітку лінію, система втрачає свою ефективність. Це також ускладнює її застосування для руху по нерівній поверхні, адже датчики можуть реагувати на зміну нахилу або дефекти підлоги. Для вирішення цих проблем у майбутньому доцільно розглянути можливість інтеграції додаткових сенсорів, таких як ультразвукові, інфрачервоні чи оптичні далекоміри, а також впровадити інтелектуальні алгоритми комп'ютерного зору, щоб робот міг орієнтуватися в просторі не лише за допомогою лінії, а й інших ознак довкілля.

Незважаючи на перелічені недоліки, сама ідея трасування лінії є цікавою і має право на існування у випадках, коли необхідна висока простота реалізації, а умови довкілля можна зробити контрольованими (наприклад, лабораторне середовище чи спеціально облаштоване приміщення з чіткою розміткою). При ретельному плануванні траси й дотриманні стабільних світлових умов робот дійсно може рухатися без відчутних збоїв, забезпечуючи задовільний рівень точності для фотограмметричних цілей. Проте, щоб суттєво вдосконалити продуктивність та зробити систему більш стійкою до впливу зовнішніх чинників, необхідний перехід на мультисенсорний підхід і використання механізмів адаптивної навігації.

Отже, попри те, що розроблений алгоритм трасування лінії загалом продемонстрував свою дієвість у доволі сприятливих умовах, реальні, а тим більше динамічні сценарії використання неминуче виявляють низку недоліків і обмежень. Серед головних чинників, які негативно впливають на універсальність розв'язання, слід назвати відсутність належної гнучкості, суттєву залежність від ідеального чи майже ідеального стану лінії на поверхні, а також відносно невисоку швидкість руху всієї системи.

Як наслідок, роботизована платформа повною мірою може реалізувати свій потенціал лише за умови, що в наявності є чітка, без розривів та контрастна лінія, прокладена на рівній, добре освітленій площині. Варто лінії частково стертися, потьмяніти чи змінити свій відтінок, і програмно-апаратна частина починає збиватися з курсу. Погані умови освітлення, відблиски або складні текстури

поверхні можуть додатково ускладнити розпізнавання лінії датчиками, змушуючи робота знижувати швидкість або припиняти рух, аби уникнути серйозних відхилень.

Водночас, якщо розглядати максимально контрольоване середовище скажімо, ділянку лабораторного приміщення з чітко прокладеною контрастною смугою, алгоритм руху дійсно дає змогу впевнено переміщуватися та виконувати завдання фотограмметрії. У такому випадку робот спроможний у потрібний момент зафіксуватися на обраному ракурсі, виконати фотозйомку і, не втрачаючи орієнтиру, продовжити свій маршрут.

Утім, з погляду розширення сфери застосування, особливо в нестабільних чи неупорядкованих умовах, нинішній підхід є надто вузькоспрямованим. Наприклад, якщо виникне потреба працювати на відкритому повітрі, де лінію складно нанести і зберегти у хорошому стані, або переміщуватися по поверхні, де змінюються рельєф та освітлення, поточне розв'язання може стати малоефективним. Занадто низька швидкість руху ускладнює реалізацію складніших операцій, а єдина залежність від зображення лінії на підлозі зводить нанівець можливість використання інтелектуальних алгоритмів обходу перешкод або адаптивної корекції курсу.

Саме тому перспективним напрямом удосконалення вбачають у впровадженні додаткового набору сенсорів: ультразвукових, інфрачервоних, оптичних далекомірів чи камер, що відслідковують текстури навколишнього середовища. У поєднанні з алгоритмами машинного зору чи штучного інтелекту робот міг би значно гнучкіше орієнтуватися у просторі, автоматично розпізнаючи перепони, вчасно змінюючи траєкторію руху та визначаючи оптимальні режими швидкості. До того ж, аналізуючи навіть базові візуальні особливості оточення, система отримує шанс не лише дублювати можливості лінії, а й повністю позбутися потреби її використовувати.

Таким чином, наявний прототип можна вважати базовим «шаблонним рішенням», яке успішно доводить працездатність алгоритму, але потребує

значних удосконалень для роботи в реальному, мінливому середовищі. Зараз робот пересувається, орієнтуючись виключно на лінію, і будь-які відхилення в маркуванні чи освітленні істотно знижують точність руху.

Розширення функціональності за допомогою мультисенсорної навігації, використання алгоритмів комп'ютерного зору або машинного навчання дасть змогу роботу орієнтуватися на складніші ознаки та підлаштовуватись до змін у довкіллі. Також важливо вдосконалити механіку руху, замінивши або доповнивши існуючі приводи більш точними й надійними елементами.

У підсумку впровадження нових сенсорів і алгоритмів перетворить цей прототип із вузькопрофільного «трасувальника лінії» на універсальну роботизовану платформу, здатну маневрувати за складніших умов. Така еволюція відкриє шлях до застосування системи в промисловості, наукових проєктах чи автоматизованому обслуговуванні, розширюючи межі її практичної цінності..

2 ТИПИ ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

2.1 Класифікація фотограметричних систем за принципом дії

Фотограметричні системи можна поділяти за різними ознаками, однак одним із найважливіших критеріїв є принцип дії, тобто спосіб, у який система отримує та обробляє інформацію про об'єкт. Залежно від того, чи має система власне джерело випромінювання для сканування об'єкта або покладається лише на відбите природне або штучне світло, виділяють пасивні та активні фотограметричні системи. Крім того, можуть існувати проміжні або гібридні методи, які поєднують ознаки обох основних підходів.

Пасивні системи базуються на реєстрації відбитого від об'єкта світла без використання додаткових джерел випромінювання. Прикладами можуть бути звичайні цифрові фотокамери, відеокамери або спеціалізовані аерофотокамери, що фіксують зображення в оптичному діапазоні. Такі системи часто застосовуються для створення 3D моделей методом багаторакурсної зйомки (multiview stereo), коли об'єкт фотографується з різних позицій або з різних камер, а потім на основі отриманих знімків виконується відновлення просторової геометрії (Structure from Motion, SfM). Пасивний принцип дії вимагає, щоб сцена була достатньо освітленою: зазвичай використовується сонячне світло при зйомці на відкритому повітрі або відповідне штучне освітлення в приміщеннях. Найбільшими перевагами таких систем є порівняно невисока вартість апаратного забезпечення, простота налаштування та доступність. Однак одним із недоліків є залежність від умов освітлення, що може впливати на точність та чіткість зображень. Крім того, на результати реконструкції впливають текстура та колір об'єкта: якщо поверхня занадто однорідна або віддзеркалювальна, алгоритмам може бути складно знайти унікальні ключові точки для побудови 3D моделі.

Активні системи використовують власне джерело випромінювання, яке спрямовується на об'єкт, а відбитий або трансформований сигнал реєструється сенсором. Цей підхід дає змогу суттєво зменшити вплив зовнішніх факторів, зокрема освітлення або текстур поверхні. До активних фотограметричних методів належать сканування лазерним променем (LiDAR, лідарні сканери) або структуроване світло (Structured Light), коли на поверхню об'єкта проектується певна патерн-текстура (наприклад, смуги), а спеціальні сенсори зчитують деформації цієї проєкції та обчислюють геометрію. Активні системи дають змогу отримувати високоточні дані з мінімальною залежністю від довкілля, хоча вартість такого обладнання зазвичай є вищою, а сама апаратура складнішою в налаштуванні. Лідарні системи, наприклад, широко застосовуються в геодезії, інженерних дослідженнях, архітектурній зйомці, дослідженні ґрунтів та лісових масивів. Вони можуть бути встановлені на літаках, дронах або наземних транспортних засобах і дають змогу швидко й точно отримувати тривимірні дані про об'єкти і ландшафт.

Існують також гібридні системи, що поєднують риси пасивних і активних методів. У деяких випадках камера може одночасно реєструвати як природне світло (пасивний підхід), так і відбите спеціалізоване випромінювання (активний підхід). Гібридні системи застосовуються переважно в проєктах, де потрібні висока точність і деталізація, а сцена або об'єкт мають складну геометрію чи погану природну освітленість. Водночас обладнання для гібридних систем може бути ще дорожчим і складнішим у використанні, а відтак вони поширені менше, ніж чисто пасивні або активні рішення.

Вибір принципу дії залежить від завдань, які ставляться перед фотограметричною системою. Для швидкої та недорогої зйомки не надто складних об'єктів у гарних умовах освітлення часто обирають пасивні системи. Якщо ж необхідно досягти високої точності та надійності, а умови освітлення неконтрольовані (наприклад, зйомка в темному приміщенні або дослідження складних текстур), зазвичай надають перевагу активним системам. У багатьох

сучасних проєктах, де потрібне комплексне рішення, застосовуються гібридні технології, які можуть адаптуватися до конкретної сцени та суттєво розширювати діапазон можливих застосувань.

Таким чином, класифікація фотограметричних систем за принципом дії насамперед поділяє їх на пасивні та активні. Пасивні системи отримують дані завдяки існуючому освітленню та працюють з відбитим від об'єкта випромінюванням, тоді як активні використовують власні джерела світла чи сигналу, що відкриває ширші можливості за складних умов зйомки. Обидва підходи мають свої переваги та недоліки, а їх вибір визначається конкретними вимогами проєкту, можливостями обладнання, умовами середовища та цілями застосування фотограмметрії.

2.2 Аналогові, аналітичні та цифрові фотограметричні системи

Фотограмметрія як наука та інженерна дисципліна пройшла декілька етапів розвитку, кожен з яких характеризувався зміною методів отримання та обробки зображень. Традиційно виділяють три основні підходи до фотограмметрії: аналоговий, аналітичний і цифровий. Кожен із цих підходів має свої переваги, недоліки та сфери застосування, що зумовлено різним рівнем розвитку технологій обробки зображень, оптики, обчислювальної техніки та електроніки.

Аналогова фотограмметрія бере свій початок у період, коли зображення об'єктів отримували на фотоплівці, а всі основні процеси обробки та вимірювань виконували за допомогою оптико-механічних приладів. Вона базується на стереоскопічному ефекті: дві (або більше) аерофотографії чи наземні знімки розглядаються у стереоскопі, що дає змогу бачити об'єкт об'ємним» і знімати його координати. Головним інструментом були так звані аналогові стереоплотери: спеціалізовані прилади, у яких фотоплівки (негативи чи діапозитиви) монтувалися

на каретки, а оператор, переглядаючи стереопару, викреслював план чи карту на основі візуального суміщення зображень.

Стереоплотери дозволяли відбудувати візуальну модель рельєфу й оцінити його висоти та просторові характеристики. Фокусні відстані, параметри калібрування камери та дані про висоту зйомки оператор вводив у прилад вручну. Це вимагало великого досвіду й обережності від фахівця, оскільки точність залежала від правильності налаштувань та відсутності помилок при паралаксних вимірюваннях.

Аналогові системи потребували значної ручної роботи та були вразливі до похибок, спричинених людським фактором. Крім того, обробка даних була обмежена можливостями оптико-механічних приладів та вимагала достатньо часу. Проте саме аналогова фотограметрія заклала фундамент для точного картографування, геодезії та військових потреб у XX столітті. Досі в деяких спеціалізованих лабораторіях можна зустріти аналогові прилади, особливо для навчальних чи музейних цілей.

На наступному етапі розвитку фотограметрії, який розпочався у другій половині XX століття, зображення, як і раніше, отримували на фотоплівці, однак обчислення почали виконуватися із залученням комп'ютерів та електронних обчислювальних систем. Цей підхід отримав назву аналітичної фотограметрії.

У аналітичних системах зображення сканували або в аналоговому стереоплотері розміщували спеціальні датчики, що дозволяли зчитувати координати точок. Ці дані передавалися до комп'ютера, який виконував геометричні обчислення, коригування проєкції та інші операції, необхідні для побудови тривимірної моделі або топографічної карти. Оператор, як і в аналоговому підході, все ще керував стереоскопічним зведенням, проте процедури вирівнювання та обчислення координат істотно спростилися завдяки програмному забезпеченню.

Така інтеграція дозволила точніше враховувати параметри калібрування камер, орієнтацію знімків і відхилення об'єктива. Крім того, з'явилася можливість

проводити блокову аеротріангуляцію (сполучення кількох знімків) із застосуванням математичних методів розв'язання надлишкових спостережень. Це збільшило точність і знизило вплив помилок, які були характерні для чисто аналогових методів.

Хоча аналітична фотограметрія вже суттєво покращила точність та ефективність обробки, самі зображення все ще залишалися в аналоговому форматі й потребували сканування чи використання громіздких стереоплотерів. З розповсюдженням цифрових камер, швидких процесорів і потужного ПЗ, аналітична фотограметрія поступово перейшла на повністю цифрові рейки, однак в окремих галузях вона зберігає своє значення донині.

Цифрова фотограметрія є сучасним етапом розвитку, у якому обробка зображень та всі обчислення здійснюються виключно за допомогою програмного забезпечення, а зображення від початку отримують у цифровому форматі або перетворюють у нього. Основною рушійною силою цього переходу стала поява високоякісних цифрових камер, збільшення потужності комп'ютерів та розвиток алгоритмів комп'ютерного зору.

Цифрові фотокамери, БПЛА (безпілотні літальні апарати) з вбудованими сенсорами та супутникові системи надають можливість фіксувати дані з високою роздільною здатністю. Немає потреби у проміжному етапі сканування, як у разі плівкових знімків, що підвищує оперативність і точність роботи.

У цифрових системах поширені методи Structure from Motion (SfM) і Multi-View Stereo (MVS), які дають змогу автоматично будувати хмару точок і щільну 3D модель об'єкта з набору фотографій. Сучасне програмне забезпечення (наприклад, Agisoft Metashape, Pix4D) може автоматично виявляти та співставляти ключові точки на зображеннях, визначати зовнішню орієнтацію камери та генерувати ортофотоплани й цифрові моделі рельєфу.

Поєднання цифрових фотограметричних методів із робототехнічними системами (у тому числі автоматичними поворотними столами) дозволяє значно спростити процес зйомки та покращити якість зображень. Камера отримує знімки

за заздалегідь визначеною програмою руху, а програмне забезпечення автоматично обробляє дані й будує 3D модель. Це мінімізує вплив людського чинника, особливо під час великомасштабних проєктів.

Висока точність, детальність, зменшення залежності від людських помилок і пришвидшення обробки зробили цифровий підхід провідним у переважній більшості сучасних проєктів. Проте, цифрові системи вимагають володіння специфічним програмним забезпеченням, потужних апаратних ресурсів для обробки великих обсягів даних і чіткої калібрування цифрових камер. Також значний обсяг отриманої інформації потребує надійних підходів до зберігання й захисту даних.

Аналогові системи заклали фундаментальний базис фотограмметрії, проте потребували від оператора високої кваліфікації й значного часу. Аналітичні системи стали перехідною ланкою, що поєднала механічні методи з обчислювальною технікою, дозволяючи досягти кращої точності. Цифрові ж системи відкрили шлях до повної автоматизації процесу та можливості роботи з великими масивами цифрових зображень, що особливо важливо в епоху поширення безпілотних технологій і високошвидкісного інтернету.

У сучасній практиці фотограмметрії переважають цифрові методи, які поєднують автоматизовану зйомку, алгоритми комп'ютерного зору й хмарні обчислення. Проте розуміння історичних етапів розвитку (аналогового та аналітичного) має важливе значення для правильного тлумачення картографічних результатів, калібрування сучасної апаратури та оцінки точності отриманих даних.

2.3 Стаціонарні та мобільні фотограмметричні комплекси

Фотограмметричні комплекси розрізняють за багатьма критеріями, зокрема за характером використання, сферою застосування, ступенем автоматизації та

принципом дії. Однією з важливих ознак класифікації є мобільність комплексу, оскільки вона визначає можливості проведення зйомок у різних умовах, масштаби охоплення та оперативність отримання результатів. У цьому контексті виділяють стаціонарні та мобільні фотограметричні комплекси, кожен із яких має власні особливості конструкції, призначення та технології збирання даних.

Стаціонарні фотограметричні комплекси призначені для роботи в умовах фіксованої локації, найчастіше у спеціально обладнаних приміщеннях або на полігонах. Вони характеризуються наявністю встановлених на стійких конструкціях камер, сканерів чи інших сенсорів, що дає змогу досягати високої точності та відтворюваності результатів. До складу таких комплексів можуть входити стаціонарні камери або фотоапарати, розміщені на жорстко закріплених платформах. Це дозволяє уникнути вібрацій, коливань і неточностей, що можуть виникати під час руху чи змінної орієнтації приладів. Подібні рішення часто застосовуються у промислових умовах для контролю деталей на виробництві, а також у сфері археології та культурної спадщини для детального сканування експонатів. Декілька синхронізованих камер, розміщених навколо об'єкта зйомки дає змогу за один цикл отримати безліч знімків з різних ракурсів, що спрощує процес побудови 3D моделі. Система може бути доповнена спеціальним освітленням, щоб мінімізувати вплив змінних умов освітлення.

Лазерні сканери або системи структурованого світла, інтегровані у стаціонарну платформу забезпечують високоточні вимірювання, що особливо важливо під час створення деталізованих моделей складних об'єктів. Деякі лабораторні комплекси передбачають автоматичну ротацію об'єкта на спеціальному поворотному столі, з одночасною фіксацією великої кількості знімків під різними кутами.

Стаціонарна обчислювальна інфраструктура, що складається з потужних серверів, які обробляють великі обсяги даних у режимі реального часу або покадрово. Це зручно для великих проєктів, де точність і деталізація мають пріоритетне значення, а швидкість отримання результатів менш критична.

Основною перевагою стаціонарних комплексів є можливість ретельного налаштування камер, калібрування обладнання та контролю параметрів зйомки. Це дозволяє отримувати максимально якісні та стабільні результати. Водночас ці системи зазвичай обмежені одним місцем розташування та потребують значних початкових інвестицій у технічне оснащення. У промисловості стаціонарні комплекси можуть застосовуватись для контролю якості продукції, тоді як у наукових установах вони слугують для детального сканування артефактів, музейних експонатів чи наукових зразків.

Мобільні фотограметричні комплекси розраховані на роботу поза межами стаціонарних лабораторій, у польових, промислових або міських умовах. Вони дають змогу отримувати зображення об'єктів у динаміці, охоплювати великі території та оперативно реагувати на зміни середовища. До мобільних систем відносять наземні мобільні платформи, такі як автотранспортні засоби або переносні установки. Камери та сенсори в такому разі можуть бути встановлені на даху автомобіля, у причепі або на спеціальній опорі. Такі системи часто використовують під час зйомки дорожньої інфраструктури, інспекції ліній електропередач, будівельних майданчиків чи міських просторів.

Авіаційні платформи, до яких належать пілотовані літаки, гелікоптери чи безпілотні літальні апарати (БПЛА). У цих випадках фотограметричні камери та додаткові датчики (GPS, IMU) монтуються на повітряне судно, що дає змогу швидко отримувати велику кількість знімків з висоти. Це особливо актуально для топографічної зйомки, картографування важкодоступних районів і моніторингу надзвичайних ситуацій.

Роботизовані мобільні комплекси, які можуть пересуватися автоматично чи дистанційно керуватися оператором. Вони застосовуються для інспекції промислових об'єктів, тунелів, шахт, трубопроводів, а також при рятувальних операціях. У такому сценарії особлива увага приділяється стабілізації камер, адже неточність під час руху може негативно позначитися на подальшій якості тривимірної реконструкції.

Портативні сканери та фотограмметричні набори, які оператор може швидко розгортати на об'єкті. Це можуть бути ручні 3D-сканери, мобільні телефони з додатковими сенсорами чи спеціальні рюкзачні системи, що фіксують навколишнє середовище у форматі зображень або хмари точок.

Основною перевагою мобільних комплексів є висока гнучкість і можливість швидкого застосування у польових умовах. Вони дозволяють отримувати оперативні дані про об'єкт або територію без необхідності транспортування самих об'єктів до стаціонарної лабораторії. Проте такі системи можуть вимагати більш складного калібрування, оскільки на точність і якість зображень впливають рух платформи, погодні умови та інші зовнішні чинники.

Стаціонарні комплекси, завдяки своїй стабільності та передбачуваності умов зйомки, ідеально підходять для високоточної роботи з відносно невеликими або середніми об'єктами, забезпечуючи високу якість і повторюваність результатів. Вони мають усталену інфраструктуру, що сприяє більш надійному калібруванню камер, покращеному освітленню та можливостям для встановлення додаткових систем контролю якості.

Мобільні комплекси дають змогу ефективніше проводити вимірювання великих площ, часто в обмежений час або у важкодоступних районах. Їх перевагою є змога документувати об'єкти в їхньому природному контексті й отримувати дані з різних висот та кутів без зайвих витрат часу й ресурсів на транспортування. Однак, окрім більш вибагливих вимог до навігаційних систем, мобільні комплекси потребують потужних алгоритмів стабілізації та виправлення похибок руху.

З урахуванням сучасних тенденцій, на практиці дедалі частіше використовують гібридні рішення, коли стаціонарні комплекси доповнюються мобільними платформами. Це дає змогу охопити ширший спектр завдань: від високоточної зйомки дрібних об'єктів чи деталей у лабораторії до масштабних польових обстежень. Подальша інтеграція з робототехнікою, автоматичними поворотними столами, бездротовими сенсорними мережами та технологіями

обробки великих даних (Big Data) відкриває нові перспективи для виконання складних фотограмметричних проєктів у найрізноманітніших умовах.

2.4 Автоматизовані та роботизовані фотограмметричні системи

Поширення комп'ютерних технологій, розвиток електроніки та робототехніки зумовили появу класу фотограмметричних систем, які значною мірою або повністю виключають безпосередню участь оператора під час знімання об'єкта та первинної обробки отриманих зображень. Такі системи поділяють на автоматизовані (часткова автоматизація окремих етапів) та роботизовані (максимально можлива або повна автоматизація завдяки використанню роботів, маніпуляторів, автоматичних поворотних столів тощо).

Автоматизовані фотограмметричні системи передбачають, що певні операції з отримання зображень, керування камерою, калібрування або первинного створення 3D моделей здійснюються без втручання оператора або за його мінімальної участі. Наприклад, у стаціонарних комплексах можна заздалегідь запрограмувати послідовність знімків, а програма автоматично керує затвором камери й виконує основні обчислення. Така схема дає змогу знизити вплив людського фактора, оскільки всі знімання відбуваються за сталих налаштувань експозиції та кута зйомки.

Ще одним прикладом автоматизації є застосування алгоритмів комп'ютерного зору, зокрема Structure from Motion та Multi-View Stereo, що дають змогу визначати положення ключових точок, орієнтацію знімків і будувати тривимірні моделі без ручної участі оператора. Роль людини у такому процесі переважно зводиться до введення вхідних параметрів і контролю якості отриманих результатів. При цьому автоматизовані системи можуть бути ефективними як у стаціонарному форматі (з випереджувальним налаштуванням

камер та освітлення), так і в мобільному (дрони або автомобілі з декількома камерами).

Роботизовані фотограметричні системи використовують роботів чи спеціальні механізми для повної або майже повної автоматизації зйомки. До таких систем належать комплекси з автоматичним поворотним столом, де об'єкт закріплюється на платформі, що обертається під керуванням програмного забезпечення. Камера в цей час може бути нерухомою або переміщатися по заданій траєкторії, роблячи знімки з різних ракурсів. Це суттєво полегшує подальшу 3D-реконструкцію, адже забезпечується рівномірне охоплення об'єкта.

Роботизовані маніпулятори, здатні переміщувати камеру довкола об'єкта або навпаки, пересувати об'єкт відносно камери. У промисловості такий підхід дозволяє автоматично контролювати геометричні параметри виробів чи деталей без залучення персоналу на кожному етапі зйомки.

Автономні мобільні платформи, наземні або повітряні, які пересуваються та здійснюють знімання за наперед визначеним планом чи за допомогою систем навігації й керування польотом. Ці платформи ефективні при обстеженні значних територій, складних інженерних споруд або важкодоступних місцевостей.

Перевагою роботизованих систем є прецизійне керування рухом і повторюваність зйомок. Вони суттєво знижують залежність від кваліфікації оператора та впливають на точність отриманих зображень, адже камера завжди розташована в чітко визначеній позиції й орієнтації. Однак реалізація таких рішень вимагає ретельної калібрування обладнання й може бути дорожчою через складність апаратної частини.

Автоматизовані й роботизовані фотограметричні системи дають змогу проводити зйомку швидше, стабільніше та точніше, ніж традиційні методи, що передбачають безпосередню участь оператора. Вони дозволяють отримати кращу повторюваність результатів, мінімізувати ручні помилки та прискорити збір даних, що особливо важливо в проєктах з високими вимогами до точності.

Сфери застосування таких систем охоплюють промислове виробництво, де необхідне безперервне сканування або контроль якості деталей; будівництво та архітектуру, де можна регулярно моніторити стан конструкцій; а також медицину, науки про здоров'я й культурну спадщину, де критичним є точне відтворення об'єктів та мінімізація ризику пошкодження. У перспективі ці системи ще більше розвинуться завдяки штучному інтелекту й усе ширшій інтеграції з іншими галузями, що вимагатиме високоточних та автоматизованих методів збору даних.

2.5 Системи на базі автоматичного поворотного столу

Системи на базі автоматичного поворотного столу являють собою спеціалізований різновид роботизованих або автоматизованих фотограметричних комплексів. Їхня ключова відмінність полягає у використанні платформи, що обертається під керуванням програмного забезпечення та створює умови для зйомки об'єкта з різних кутів. Такий підхід істотно спрощує процес отримання знімків для подальшої 3D-реконструкції і може застосовуватися в лабораторних, промислових або науково-дослідних умовах.

Автоматичний поворотний стіл забезпечує сувору контрольованість ракурсів зйомки. Залежно від налаштувань система може повертати об'єкт на заданий кут (наприклад, кожні 5 чи 10 градусів), при цьому камера робить знімок на кожній фіксованій позиції. Така чітка дискретизація істотно полегшує алгоритмам фотограметричної обробки визначення спільних точок і формування просторової моделі.

Платформа зазвичай оснащується кроковим або сервоприводом, який гарантує повторюваність обертання і точне дотримання кутових інтервалів. Крім того, система може бути доповнена датчиками для відстеження положення платформи, що знижує вірогідність накопичувальної похибки при тривалих

циклах зйомки. Результатом цього є набір високоякісних фотографій, отриманих під однаковими умовами освітлення та в певній послідовності ракурсів.

Завдяки стабільній фіксації об'єкта та передбачуваним ракурсам, системи з автоматичним поворотним столом забезпечують надзвичайно детальну та геометрично коректну 3D-реконструкцію. Алгоритми комп'ютерного зору ефективніше визначають спільні точки на послідовних знімках, що зменшує кількість помилок під час узгодження моделей.

У традиційних методах зйомки оператор часто мусить вручну змінювати положення об'єкта або рухати камеру навколо нього. Використання автоматизованої платформи позбавляє від цього, мінімізуючи ризик нерівномірної зйомки чи пропуску певного ракурсу.

Якщо виникає потреба повторно відзняти той самий об'єкт (наприклад, для порівняння або моніторингу змін), автоматичний поворотний стіл дає змогу відтворити точну послідовність рухів та ракурсів. Це особливо корисно в промисловій метрології або при наукових експериментах, де необхідні аналогічні умови зйомки.

Системи зазвичай підтримують зміну швидкості обертання, кількості кадрів на один оберт, а також автоматичне керування параметрами зйомки (витримка, діафрагма, ISO). Це дозволяє оптимізувати процес під конкретні завдання: створення високоточних моделей дрібних деталей, візуалізацію складних форм, створення серії зображень тощо.

Сканування готових виробів або деталей на автоматичному поворотному столі дозволяє перевірити їх відповідність технічним вимогам чи кресленням. У деяких галузях (авіабудування, машинобудування) подібні системи застосовують для швидкого неруйнівного контролю.

Зйомка експонатів, скульптур, керамічних виробів або археологічних знахідок на обертовій платформі дає змогу отримати точну й повну 3D-модель, яку надалі можна використовувати для досліджень, реставрації чи віртуальних виставок.

У біології та медицині обертові столи можуть слугувати основою для зйомки дослідних зразків. Це полегшує аналіз форми, структури та змін зразка в динаміці, якщо потрібна серія порівняльних зйомок.

Багато інтернет-магазинів використовують інтерактивні 360-градусні огляди товарів. Автоматичні платформи дають змогу швидко виготовляти подібний контент, оптимізуючи роботу фотографів і дизайнерів.

Подальше вдосконалення систем на базі автоматичного поворотного столу пов'язане із розширенням функціоналу та інтеграцією інтелектуальних алгоритмів. Зокрема, мова йде про алгоритми машинного навчання для автоматичного визначення оптимальних ракурсів і корекції параметрів зйомки в реальному часі. Це дасть змогу підвищити рівень автоматизації та ще більше зменшити залежність від досвіду оператора.

Значний потенціал мають гібридні установки, де, крім поворотного столу, передбачена можливість вертикального переміщення камери або нахилу платформи під різними кутами. Такі рішення дають змогу всебічно сканувати об'єкт без його додаткового маніпулювання, що корисно для об'ємних або нестандартних форм.

У перспективі розвиток високоточної робототехніки й поява менш габаритних, але водночас потужних мікрокомп'ютерів сприятимуть поширенню подібних систем у різних секторах, від мікрохірургії до космічних досліджень. Автоматичні поворотні столи стануть одним із ключових елементів у комплексних фотограметричних системах, що працюють у реальному часі й здатні оперативно генерувати високоточні 3D-моделі, вносячи суттєвий внесок у розвиток промисловості, науки та суспільства загалом.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОГРАМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

3.1 Фотограметричні системи в архітектурі, будівництві, аерофотограметрії, картографії, археології та промислових дослідженнях

Архітектура та будівництво є одним з головних напрямів впровадження фотограметричної системи, оскільки вона надає можливість повністю або частково автоматизувати процес зйомки будівельних об'єктів. Завдяки цьому рішення фахівці отримують точні 3D-моделі, що суттєво спрощує проектування, аналіз та оптимізацію будівельних проєктів на всіх етапах їх виконання. Застосування подібної системи дозволяє підвищити рівень контролю якості, адже автоматизація значною мірою мінімізує вплив людського чинника та ймовірність виникнення помилок під час вимірювань.

Крім того, фотограметрична система сприяє більш ефективному управлінню будівельними ресурсами, оскільки отримані тривимірні моделі дають змогу завчасно виявляти потенційні невідповідності між проєктними кресленнями та фактичним станом об'єктів. Також це відкриває нові можливості для оцінки впливу будівельних робіт на довкілля, адже детальна візуалізація існуючої забудови допомагає передбачити критичні точки або зони ризику.

На рисунку 3.1 зображено одну з можливих конфігурацій камер, яка дозволяє отримувати фотографії з різних ракурсів. Такий підхід допомагає охопити об'єкт усебічно та відтворити його геометричні характеристики з максимальною точністю [4].

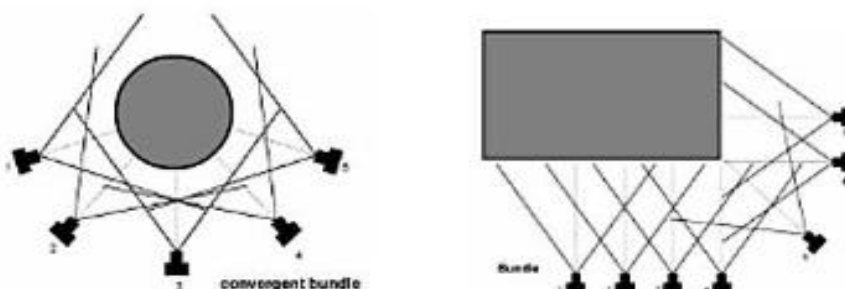


Рисунок 3.1 – Конфігурація камер для отримання зображень

Отримані тривимірні моделі відіграють ключову роль у виявленні можливих розбіжностей між проєктною документацією та реальним станом будівельного об'єкта. Завдяки детальному відтворенню геометрії можна оперативно аналізувати конфігурацію конструктивних елементів і своєчасно вносити корективи у креслення. Це надзвичайно важливо для підрядних організацій, оскільки дає їм змогу заздалегідь виявляти труднощі, пов'язані з монтажем, та оцінювати відповідність фактичних робіт цифровому двійнику споруди.

На рисунку 3.2 продемонстровано схему перекриття блокових зображень, яка зазвичай застосовується при зовнішніх зйомках. Однак цей підхід є універсальним і так само ефективно реалізується у випадку зйомки на автоматичному поворотному столі. Головним чинником, що забезпечує коректність фотограмметричної реконструкції, є достатній відсоток перекриття між послідовними знімками. Це дає змогу програмному забезпеченню впевнено ідентифікувати спільні контрольні точки та об'єднувати отримані фотографії в цілісну тривимірну модель [4].



Рисунок 3.2 – Перекриття блокових зображень з DSLR-камери та дрона

Застосування автоматизованого поворотного столу у сфері будівництва істотно спрощує та прискорює процес отримання детальних геометричних параметрів різних елементів споруди. Такий формат зйомки забезпечує максимально точні вимірювання, оскільки об'єкт послідовно фіксується з усіх боків під чітко визначеними кутами. Це особливо актуально для складних вузлів, декоративних фасадних елементів або важкодоступних ділянок конструкцій, де ручна зйомка може бути доволі тривалою і неточною.

Використовуючи поворотний стіл, можна з мінімальними зусиллями обертати об'єкт довкола своєї осі та автоматично знімати його з бажаним кроком, що знижує ймовірність пропуску будь-яких важливих ракурсів. Завдяки цьому вже на ранніх стадіях проєктування чи аналізу вдається з'ясувати, чи відповідають реальні параметри конструкції початковим кресленням. Такий підхід помітно підвищує точність вимірювань і скорочує час, необхідний для збирання даних.

На рисунку 3.3 наведено приклад загального процесу створення цифрової моделі будівлі, починаючи з фактичного об'єкта та закінчуючи його віртуальним поданням [2].

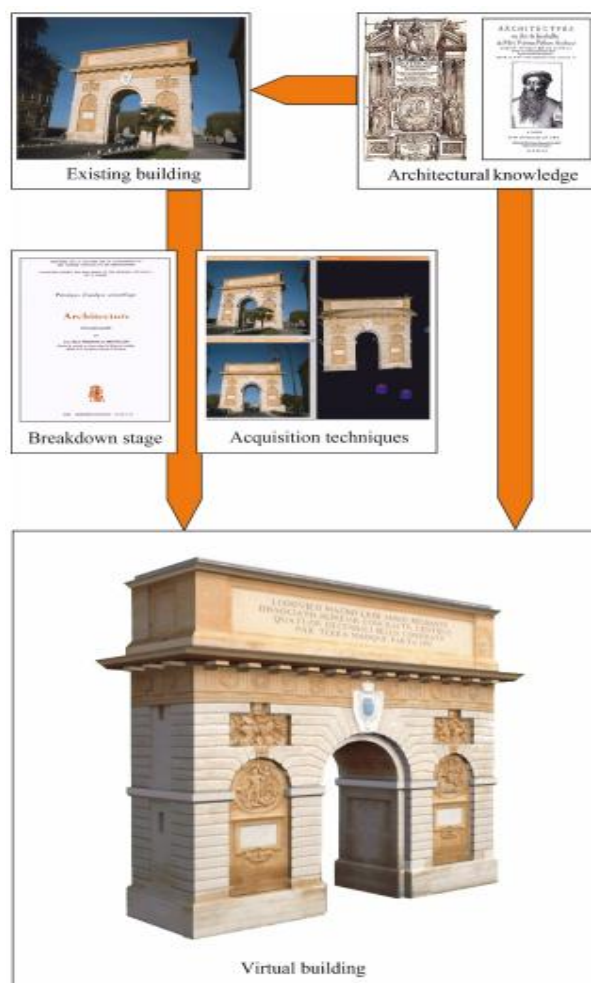


Рисунок 3.3 – Від існуючої до віртуальної будівлі

Таким чином, навіть якщо використовується масштабована копія або фрагмент реального будівельного об'єкта, автоматичний поворотний стіл дає змогу зняти модель зі всіх ракурсів та отримати високоточну 3D-реконструкцію. Це скорочує час для аналізу, збільшує продуктивність і знижує кількість потенційних помилок при будівництві й експлуатації споруд.

У сфері топографічних зйомок розлогих територій або населених пунктів дрони та наземні мобільні комплекси традиційно вважаються найзручнішим і найоперативнішим розв'язанням. Вони дозволяють охопити значні площі за відносно короткий час, зібрати ґрунтовну базу зображень і в подальшому побудувати високоточні картографічні матеріали чи 3D-моделі різноманітних масштабів. Проте варто наголосити, що навіть у масштабних польових дослідженнях методика з використанням автоматичного поворотного столу може відігравати важливу роль і доповнювати комплексні геодезичні роботи.

Найчастіше поворотний стіл застосовують саме в лабораторних умовах, коли немає потреби обстежувати великі відстані або переміщуватися між численними точками зйомки. Такий підхід чудово підходить для створення детальних 3D-моделей зразків ґрунту, окремих гірських порід чи зменшених копій будівельних об'єктів. Отримані таким чином моделі можна не лише ретельно дослідити під мікроскопом з усіх можливих ракурсів, а й надалі імпортувати до геоінформаційних систем, де їм надають точні масштабні характеристики та координати.

Завдяки інтеграції цих цифрових копій у картографічний простір реальні мапи доповнюються новими рівнями даних: від уточненої морфології ґрунтів до інформативних віртуальних проєкцій архітектурних макетів. Такий симбіоз польових і лабораторних методів гарантує, що кінцеві матеріали будуть водночас і широко охоплювати місцевість, і деталізовано відображати окремі елементи чи процеси. У результаті фахівці різних напрямків картографи, геологи, урбаністи чи екологи отримують у свої руки інструментарій, який дає змогу глибше й повніше аналізувати досліджувані об'єкти або території.

Таким чином, хоча застосування поворотного столу не завжди доречне в самих польових умовах, його лабораторний потенціал залишається вкрай високим. Це особливо помітно під час поглибленого вивчення окремих фрагментів чи зразків, які в польових обставинах не завжди можна якісно зафіксувати. Універсальність такого підходу дозволяє поєднати швидкі зовнішні обльоти дронів з поглибленими столичними дослідженнями, створюючи вичерпну систему даних для різнопланових проєктів. На рисунку 3.4 подано приклад ортомозаїки, створеної шляхом поєднання багатьох зображень, знятих під різними кутами огляду. Аналогічний підхід до побудови суцільного тривимірного покриття можна реалізувати і у випадку знімків, отриманих на поворотному столі. По суті, комп'ютерні алгоритми аналогічно аналізують накладання й перекриття кадрів, щоби згодом зібрати їх у єдину 3D-реконструкцію або ортомозаїку [12].



Рисунок 3.4 – Приклад ортомозаїки

Актуальність такого підходу особливо підкреслюється у процесі розробки нових територіальних планів чи проведенні деталізованих ландшафтних досліджень, коли необхідно отримати максимально точні дані про особливості рельєфу та його морфологію. Тривимірні моделі, сформовані на основі знімків із поворотного столу, легко інтегруються в геоінформаційні системи (ГІС) та забезпечують високу точність позиціонування кожної точки. Це відкриває широкі можливості для складних аналітичних операцій, від аналізу схилів і визначення зон можливих зсувів до прогнозування впливу будівництва на довкілля чи оптимального проектування дорожньої мережі.

Якщо виникає потреба в оновленні або уточненні даних, повторна зйомка об'єкта на поворотному столі не викликає особливих труднощів. Процес відбувається оперативно й з гарантією однакових налаштувань, що дає змогу зберігати несуперечливість даних навіть при зміні умов або коли зразок треба повторно дослідити. Завдяки цьому будь-які зміни, що виникають протягом часу, можна зафіксувати й відобразити у відповідних картах чи 3D-сценах у ГІС.

На рисунку 3.5 продемонстровано приклад цифрової моделі рельєфу гори, на якій позначені контурні лінії [14].

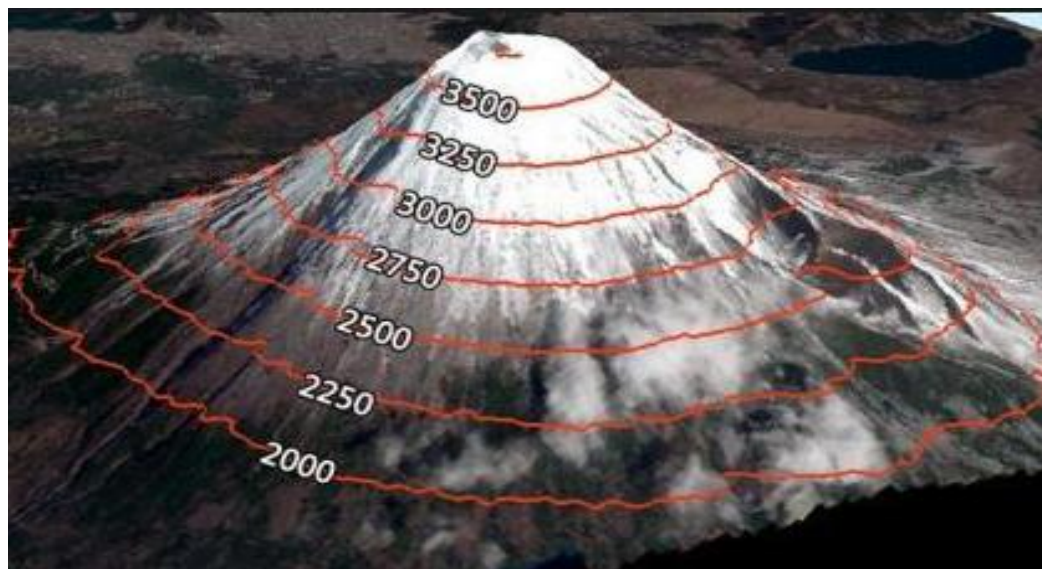


Рисунок 3.5 – Цифрова модель рельєфу з позначеними контурами

Такий підхід може бути корисний і для перевірки результатів польових зйомок: лабораторне сканування зразків або невеликих прототипів допомагає оцінити вплив різних параметрів (наприклад, висоти зйомки чи кута камери) на точність побудови карт. Це особливо важливо у сфері містобудування, моніторингу змін рельєфу та природоохоронних дослідженнях.

В археологічній практиці об'єкти часто потребують делікатного ставлення, а їх розміри можуть істотно варіюватись від дрібних артефактів до фрагментів стін або цілих комплексів споруд. Саме для сканування невеликих знахідок (кераміка, скульптурні деталі, монети тощо) ідеально підходить автоматичний поворотний стіл. Об'єкт розміщують на платформі, а камера або комплекс камер знімають його під фіксованими кутами. Це дає змогу швидко створити високоточну 3D-модель, яку можна досліджувати, порівнювати з іншими зразками або використовувати для віртуальних реконструкцій.

На рисунку 3.6 показано процес вимірювання контрольних точок за допомогою GPS RTK [5]. Хоча ця ілюстрація стосується великих територій, аналогічні методи геоприв'язки можна використовувати й у лабораторному середовищі, створюючи еталонні контрольні точки для більш точних моделей.

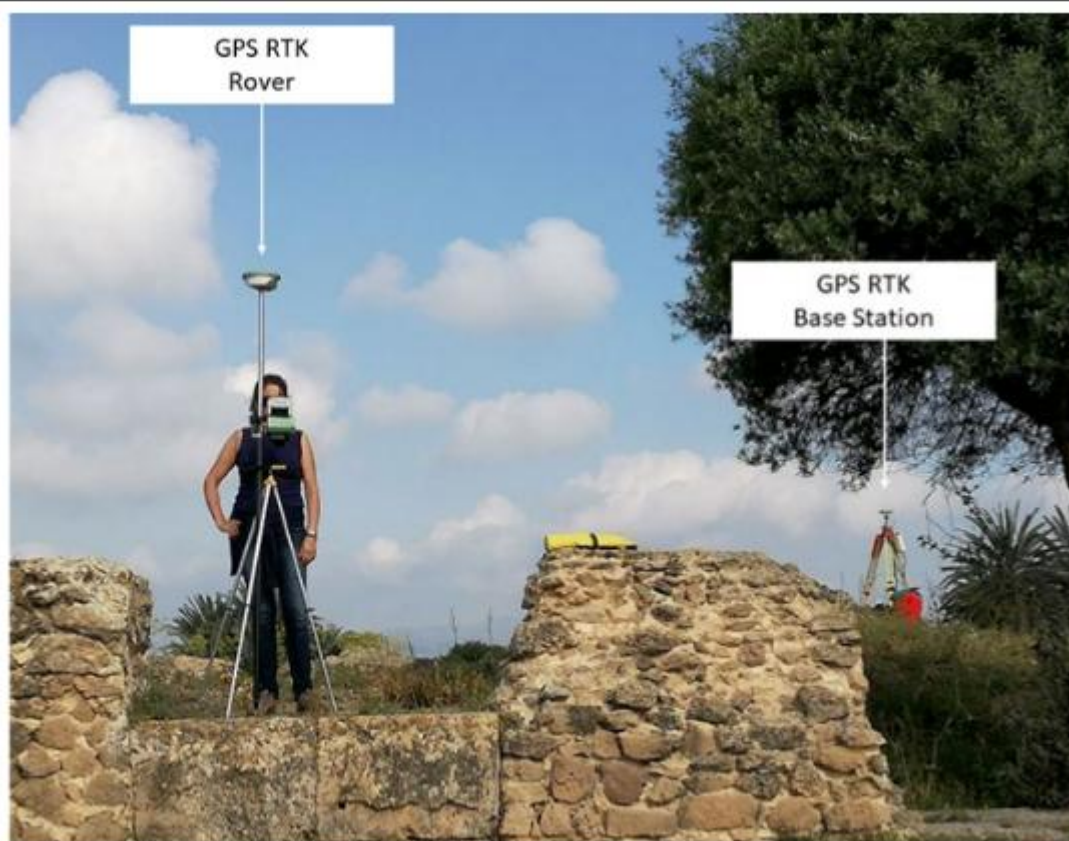


Рисунок 3.6 – Вимірювання контрольних точок за допомогою GPS RTK

Оцифрування археологічної спадщини дає змогу не лише зберегти унікальні об'єкти від впливу часу чи кліматичних чинників, а й популяризувати культурне надбання серед ширшої аудиторії. Завдяки тривимірним моделям, створеним на базі фотограмметрії або лазерного сканування, артефакти можуть стати доступними для перегляду в інтерактивних віртуальних виставках, наукових онлайн-порталах або ж у формі високоякісних ілюстрацій у спеціалізованих виданнях. Це відкриває зовсім новий рівень доступу до культурних цінностей та сприяє їх глибшому вивченню. На рисунку 3.7 наведено приклади лазерного сканування, виконаного з різних ракурсів для римської мозаїки [5].

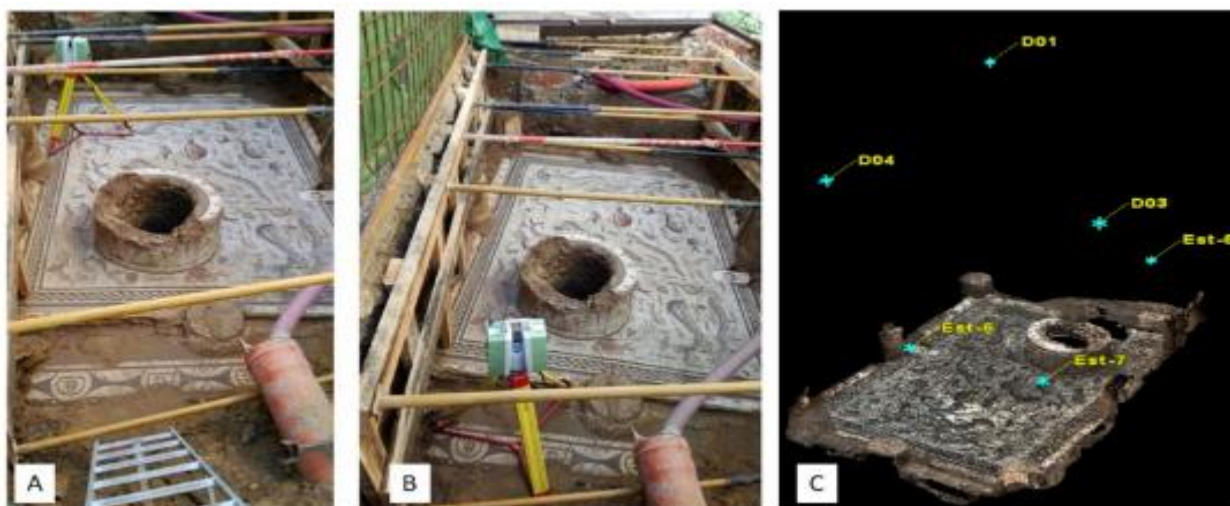


Рисунок 3.7 – Вимірювання точок за допомогою системи лазерного сканування в різних положеннях

У промисловому середовищі оперативне й точне визначення стану деталей, інструментів і конструктивних елементів має вирішальне значення. Зокрема, важливо завчасно виявляти найменші деформації, тріщини або відхилення від заданої форми, що можуть призвести до серйозних ускладнень у роботі обладнання або випуску неякісної продукції. Саме з цією метою система на базі автоматичного поворотного столу виявляється надзвичайно корисним інструментом.

Автоматизоване обертання об'єкта в поєднанні зі спеціалізованими алгоритмами фотограмметрії дає змогу фіксувати поверхню деталі у всіх ракурсах та створювати її детальну 3D-модель. Це спрощує пошук можливих дефектів: мікротріщин, сколів, нерівностей чи різноманітних відхилень від проєктних розмірів. Завдяки такій комплексній інформації можна оперативно приймати рішення щодо подальшої експлуатації, ремонту або повного оновлення конкретної частини устаткування.

Крім того, це дозволяє проводити порівняльний аналіз геометричних параметрів деталей, наприклад, перед та після їх використання у складних умовах. Якщо зразки з різних партій продукції починають демонструвати схожі деформації, це є сигналом для перегляду технології виготовлення або

вдосконалення технічних регламентів. Такий підхід також допомагає оптимізувати графіки технічного обслуговування й підвищувати безпеку на виробництві. На рисунку 3.8 продемонстровано роботу автоматичної фотограмметричної системи ATOS Plus ScanBox [6].



Рисунок 3.8 – ATOS Plus ScanBox, автоматична фотограмметрична система

Однією з ключових переваг упровадження фотограмметричної системи в промисловому секторі є значне зниження ризиків для персоналу, адже роботи можуть виконувати низку завдань у потенційно небезпечному середовищі, де перебування людини є небажаним або навіть неможливим. Так, цілком реально організувати дистанційну інспекцію високих димових труб, обмежених тунелів, вузьких трубопроводів чи територій із підвищеним температурним або радіаційним фоном. Подібна функціональність забезпечує якісний доступ до найбільш віддалених куточків промислових об'єктів, не ризикуючи здоров'ям та безпекою працівників.

Зібрані фотограмметричні дані, завдяки спеціалізованому програмному забезпеченню, можна перетворити у комплексні звіти, детальні 3D-моделі, віртуальні прототипи або навіть розширену реальність для візуалізації в

реальному часі. Така багатогранність кінцевого результату дозволяє інженерам та технічним фахівцям швидко визначати стан об'єктів: від виявлення найменших тріщин чи сколів до фіксації глобальних деформацій, які можуть свідчити про необхідність термінового ремонту. Крім того, аналіз згенерованих моделей дає змогу спостерігати за поведінкою об'єкта у динаміці, знаходити схожі проблеми на аналогічних вузлах та розробляти ефективні плани обслуговування, що мінімізують простой на підприємстві.

Застосування таких рішень може стати справжнім проривом для промислових компаній, яким важливо підтримувати високу конкурентоспроможність та дотримуватися суворих вимог безпеки. Надійність і точність контролю, який забезпечує фотограметрія, допомагають у разі зменшити ймовірність виникнення нештатних або аварійних ситуацій. Замість того, аби спрямовувати персонал у ризиковане середовище, підприємства можуть покладатися на механізовані платформи, які здатні збирати величезні обсяги даних про технічний стан об'єктів за короткий проміжок часу.

Зрештою, такий підхід створює міцну основу для комплексної оптимізації виробничих процесів, оскільки отримані фотограмметричні дані легко інтегруються з іншими інформаційними системами (наприклад, ERP чи CMMS-системами), що дає змогу автоматично планувати ремонтні роботи, вдосконалювати логістичні ланцюги постачання запчастин та аналізувати динаміку зношення обладнання з урахуванням реальних експлуатаційних характеристик. У підсумку це не лише підвищує рівень безпеки, а й дозволяє раціональніше використовувати ресурси та ефективніше управляти процесами на виробництві.

3.2 Фотограметрична системи в культурній спадщині, туризмі, навчанні та дослідженнях

Фотограметрична система відкриває нові можливості для вивчення та збереження світової культурної спадщини. Завдяки здатності отримувати надзвичайно детальні тривимірні моделі об'єктів, ця технологія дозволяє дослідникам, реставраторам та представникам музейної сфери відтворювати з максимальною точністю форму, текстуру й навіть найменші тріщини чи подряпини на поверхні артефактів. Такий підхід дає змогу фахівцям працювати з цифровими копіями цінностей, зберігаючи фізичні оригінали від надмірного контакту чи переміщень.

Точність і висока роздільна здатність сканування дозволяють фіксувати кожну деталь історичних об'єктів: від масштабних архітектурних споруд до крихітних та тендітних артефактів. Це особливо важливо, коли маємо справу з об'єктами, що поступово руйнуються під впливом клімату, часу або людської діяльності. Створення цифрових моделей надійно консервує їхній сучасний стан. Якщо надалі виникає потреба у реставрації, ці моделі служать референсною базою, даючи змогу точно відстежувати зміни та ухвалювати рішення щодо методів відновлення.

Ще одним вагомим аспектом є можливість спільної роботи фахівців з різних країн. Цифрові копії можна швидко передавати через мережу й аналізувати колективно, залучаючи до процесу археологів, мистецтвознавців, істориків та консерваторів зі всього світу. Це дає змогу об'єднувати зусилля й досвід, що у підсумку сприяє комплекснішому розумінню й покращенню результатів.

Важливою перевагою фотограметричної системи є можливість створення високоякісних віртуальних турів, які забезпечують ефект присутності у віддалених або навіть закритих для загального доступу місцях. Завдяки 3D-моделям пам'яток і різноманітним інтерактивним платформам люди з усього

світу можуть віртуально мандрувати музеями, архітектурними ансамблями чи археологічними зонами, отримуючи при цьому детальне уявлення про їхню структуру й історичний контекст.

Подібні технології відкривають широкі горизонти для розвитку культурно-освітнього простору. Наприклад, віртуальні експозиції можуть бути доповнені мультимедійними матеріалами по типу аудіогідами, інтерактивними підказками, посиланнями на історичні джерела. Така інтеграція робить процес знайомства з мистецькими шедеврами чи історично цінними місцями значно багатограннішим і доступнішим для широкої аудиторії, включно з людьми з обмеженими можливостями або тими, хто проживає у віддалених регіонах. На рисунку 3.9 продемонстровано приклад віртуального туру Версалем, створеного компанією Google на базі фотограмметричних даних [3].

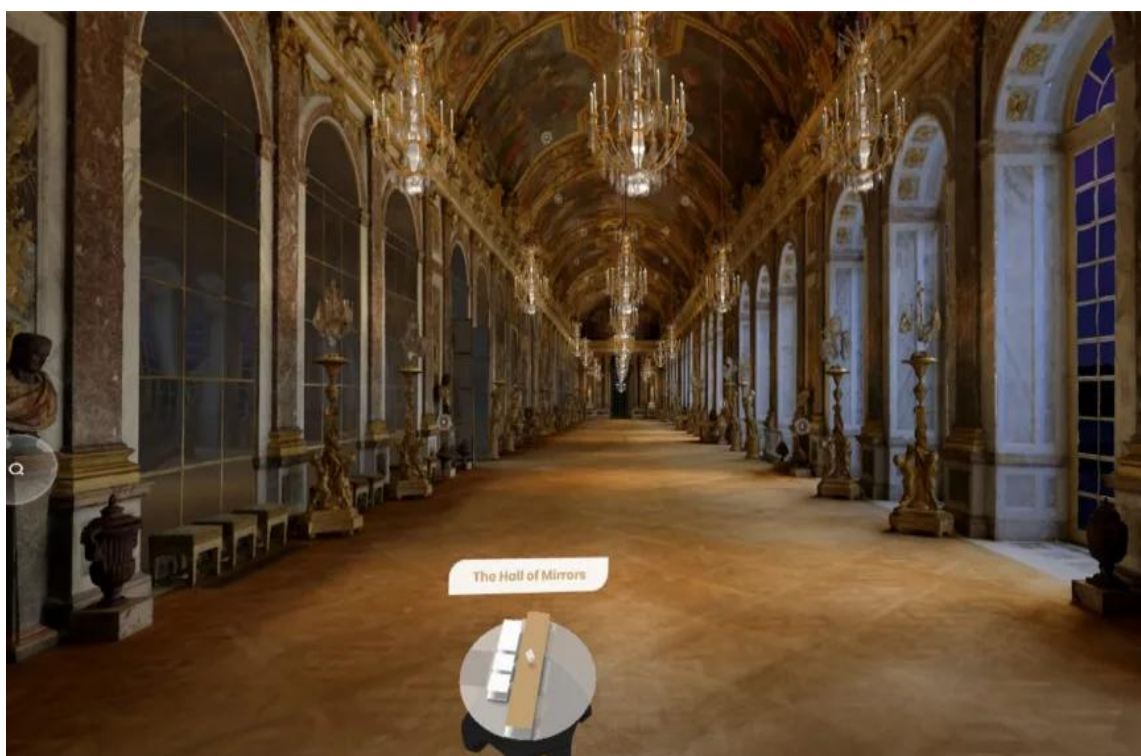


Рисунок 3.9 – Віртуальний тур Версалем

Використання віртуальних турів і тривимірних моделей для презентації культурної спадщини відкриває абсолютно нові горизонти залучення різноманітної аудиторії, від допитливих туристів і дослідників до студентів, і

просто шанувальників історії. Можливість віртуально перенестися до віддалених пам'яток дає змогу відчувати атмосферу та унікальність культурних об'єктів, незалежно від того, де фізично перебуває людина. Така форма ознайомлення з історико-культурними цінностями стимулює додатковий інтерес до різних регіонів світу, підтримує їх збереження і, водночас, популяризує багату спадщину серед ширшого кола громадськості.

Крім того, впровадження фотограметричних технологій робить реальним віртуальне відродження об'єктів, які були зруйновані часом або втрачені через різні чинники. З використанням високоточних цифрових даних фахівці можуть реконструювати історичні споруди, відтворивши їхній первісний вигляд і масштаб. Це дозволяє сучасникам наново усвідомити величність і значення стародавніх пам'яток, спираючись на достовірні 3D-моделі, які часто можуть бути єдиним свідченням їх колишньої слави.

Загалом, застосування фотограметричної системи у культурній та туристичній сферах відкриває необмежені можливості для розвитку так званого цифрового туризму, формування сучасних освітніх програм і проведення глибоких наукових досліджень. З одного боку, це сприяє багатовекторному збереженню культурних надбань, а з іншого робить їх доступними та цікавими для найширшого кола людей. Така інтеграція високих технологій та історико-культурної спадщини дає змогу не тільки ознайомити аудиторію з видатними пам'ятками, а й забезпечити їм надійне та довготривале місце у колективній пам'яті майбутніх поколінь.

Фотограметрична система забезпечує надзвичайно широкий спектр застосувань у галузі освіти й наукової діяльності, оскільки вона поєднує в собі сучасні підходи до обробки зображень, робототехніку, комп'ютерний зір та інші суміжні технології. Це робить її ідеальним інструментом для студентів, викладачів і науковців, які прагнуть отримати прикладні знання та практичний досвід роботи з новітнім обладнанням.

Зокрема, у навчальних програмах застосування такої системи дає змогу студентам опанувати весь цикл фотограмметричних робіт, від збирання та обробки вихідних знімків до програмування алгоритмів для керування рухом поворотної платформи або інтеграції різних сенсорів. Завдяки цьому здобувачі вищої освіти розвивають у собі важливі в сучасному світі навички: креативність, уміння працювати з реальними даними та вирішувати нетривіальні технічні завдання, навички командної взаємодії тощо. Така комплексна підготовка допомагає їм глибше зрозуміти міждисциплінарну природу робототехніки й фотограмметрії та їхній взаємозв'язок із іншими інженерними та науковими сферами.

У науково-дослідницькій діяльності фотограмметрична система дає змогу виконувати високоточне збирання даних і будувати детальні 3D-моделі різноманітних об'єктів, незалежно від їхніх розмірів чи форми. Наприклад, у геології така система дозволяє створювати цифрові моделі зразків гірських порід, детально аналізуючи їхню структуру та геометрію. В археології можна сканувати артефакти з особливою ретельністю, фіксуючи навіть найдрібніші елементи рельєфу. У географії та картографії 3D-моделі можуть відігравати важливу роль при вивченні рельєфу чи міського середовища, а в архітектурі слугувати точним референтом для проєктування та реставрації.

Дослідники, які користуються такими системами, мають змогу відстежувати зміни об'єктів у часі, визначати закономірності розвитку чи деградації, а також тестувати нові методики обробки й аналізу фотограмметричних даних. Це створює підґрунтя для наукових відкриттів, появи інноваційних рішень і проєктів, що здатні вплинути на широкий спектр дисциплін від інженерії до природничих наук.

Впровадження фотограмметрії в освітньо-науковий процес має численні переваги. Студенти отримують практичні навички роботи з реальними технологіями та краще підготовлені до викликів сучасного ринку праці, а дослідники значно розширюють можливості своїх експериментів, що сприяє

активному розвитку науково-дослідницької сфери. Така взаємодія між освітою й наукою стимулює появу нових ідей, формує інноваційне середовище та загалом підвищує якість підготовки фахівців і результативність академічних досліджень.

3.3 Реалізація системи

Розроблена конструкція базується на поєднанні плати Arduino Uno, мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4 та крокового двигуна типу Nema17. Живлення реалізовано за допомогою звичайного Powerbank ємністю 10000 мА·год, що забезпечує повну мобільність комплексу. На перший погляд, алгоритм її роботи може здатися доволі простим, однак у порівнянні зі стандартним поворотним столом тут застосовано ретельно продумане механічне рішення. Ключовою відмінністю є модульна конструкція всіх деталей, яка дозволяє масштабувати систему залежно від конкретного завдання. Це може бути зйомка невеликих предметів чи навіть сканування людини, усе зводиться до заміни або трансформації окремих сегментів механіки.

Головна перевага полягає в тому, що сам об'єкт зйомки нерухомий. Рух виконує лише камера, яка обертається по заданій траєкторії. Завдяки цьому немає потреби у встановленні додаткових фонів, штор чи екранів, аби програмне забезпечення для фотограмметрії не заплуталося в надмірній кількості зовнішніх деталей. Іншими словами, камера отримує максимально чисте зображення, а користувачеві не доводиться робити зайву роботу з видалення фону в сторонніх програмах.

Усе це робить систему надзвичайно зручною в експлуатації. Вона не лише компактна і легко переноситься, але й дає змогу за потреби повністю розібрати всі складові буквально підручними інструментами, наприклад, звичайною викруткою. Це може бути важливо у випадках, коли доводиться працювати в полі або коли необхідно швидко адаптувати механіку під конкретне застосування

(зміна розміру платформи, висоти камери тощо). Як наслідок, фотограмметрична система вийшла універсальною, ергономічною та придатною для розширення, що дозволяє успішно використовувати її для найрізноманітніших цілей, від сканування дрібних об'єктів до реконструкції великих об'єктів чи навіть людей. На рисунку 3.10 продемонстрована 3D модель прототипу.

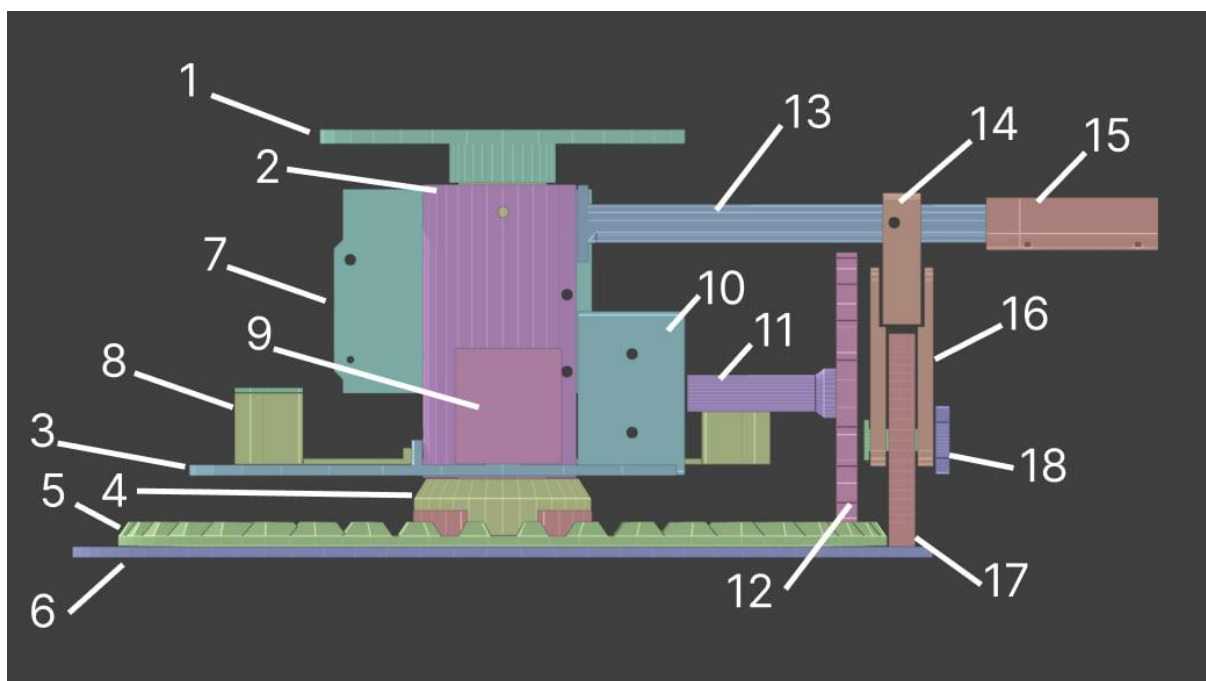


Рисунок 3.10 – Поворотний стіл вид з боку

1. Платформа на якій встановлюється об'єкт для сканування слугує основою для розміщення об'єкта, що підлягає фотограмметричній зйомці. Її розмір можна масштабувати залежно від габаритів об'єкта: від невеликих предметів до більших експонатів, зберігаючи стійкість та безпеку під час обертання.
2. Другорядний циліндр, на який кріпляться корпуси плат та крокового двигуна виконує роль несучого елемента, що об'єднує додаткові компоненти (плати керування, електроніку) в окремому «блоці». Дозволяє компактно розмістити електронну частину і при потребі швидко від'єднати чи замінити її.

3. Платформа для тримання основної технічної частини, закріплена за другорядним циліндром, вона служить місцем фіксації ключових модулів, як-от крокового двигуна, датчиків або інших функціональних вузлів. Її конструкція розрахована на те, щоб витримувати навантаження та при цьому спрощувати доступ до компонентів.
4. Головний циліндр, що тримає другорядний циліндр та забезпечує можливість обертання механізму є центральною віссю обертання, за допомогою якої здійснюється плавний рух усієї конструкції. Від надійності цього циліндра залежить рівномірність і точність обертання платформи.
5. Трек, по якому їздить шестерня (основне колесо) крокового двигуна, забезпечує точний рух на потрібний кут, виготовляється з урахуванням геометричних параметрів, необхідних для високоточної передачі обертального моменту. Дає змогу покроково змінювати позицію системи, що є визначальним для фотограмметричної зйомки різних ракурсів.
6. Трек для другорядного колеса, закріплений за попереднім треком. Додатковий елемент, що слугує опорною доріжкою для колеса, яке знімає частину навантаження з основного механізму. Знижує тертя, забезпечує більш плавний оберт та стабілізує платформу.
7. Кейс для Arduino Uno, закріплений на другорядному циліндрі. Захищає плату Arduino від механічних пошкоджень і пилу. Завдяки кріпленню на другорядному циліндрі забезпечується зручний доступ до інтерфейсів, що дозволяє швидко під'єднати або перепрограмувати мікроконтролер.
8. Кейс для Powerbank, який кріпиться на платформі. Дозволяє розмістити джерело живлення безпосередньо на конструкції, спрощуючи транспортування й експлуатацію. Така інтеграція робить систему автономною, адже платформа не потребує додаткових проводів для живлення.
9. Кейс для Raspberry Pi, який кріпиться на другорядному циліндрі. Утримує мікрокомп'ютер Raspberry Pi в безпечному місці й водночас забезпечує

належну вентиляцію та доступ до портів. Це спрощує підключення камер, моніторів або USB-пристроїв.

10. Кейс для крокового двигуна, що кріпиться на другорядному циліндрі. Захищає двигун від зовнішніх впливів (ударів, забруднень), водночас забезпечуючи достатній простір для охолодження. Конструкція кейса враховує механічні навантаження і дає змогу легко замінити двигун у разі потреби.
11. Подовження валу крокового двигуна, на якому передбачені отвори для закріплення колеса. Збільшує робочий діаметр двигуна й спрощує кріплення колеса. Продумане розташування отворів забезпечує точне позиціонування і мінімізує люфт, що особливо важливо для рівномірності кроків.
12. Колесо крокового двигуна, яке несе основне навантаження. Безпосередньо контактує з треком, передаючи обертальний момент від двигуна. Виготовляється з міцних матеріалів для витримування динамічних навантажень та довготривалої експлуатації..
13. Вал, на якому закріплюється платформа для камери та другорядне колесо. Виступає додатковою віссю обертання або опорою, підтримуючи розміщення камери. Завдяки цьому механізм може налаштовувати кут нахилу та висоту камери відповідно до вимог зйомки.
14. Перша частина кріплення другорядного колеса. Служить базовим елементом, який з'єднує вал із колесом. Його форма й розміри мають бути підібрані так, щоб у поєднанні з іншими частинами кріплення гарантувати жорсткість та стійкість під час обертання.
15. Платформа для закріплення камери. Надає міцну й стабільну основу для фіксації фотографічного обладнання, даючи змогу точно налаштовувати ракурс зйомки. При проектуванні враховується баланс маси камери, щоб уникати вібрацій і зберігати потрібний фокус.
16. Друга частина кріплення другорядного колеса. Працює у парі з першою частиною, допомагаючи регулювати відстань і кут встановлення колеса. Це

дозволяє системі адаптуватися до різної ширини треку та забезпечує відповідний контакт із поверхнею.

17. Другорядне колесо, яке тримає вагу камери й дає змогу встановлювати важке кріплення в майбутньому. Приймає на себе частину навантаження від фотообладнання, розподіляючи вагу рівномірно. Завдяки надійній конструкції дає запас для модернізації та підключення додаткових модулів, наприклад, більш важких камер або стабілізаторів.
18. Третя частина кріплення другорядного колеса, що дозволяє регулювати вільний простір між частинами. Змінюючи положення цього сегмента, можна збільшувати або зменшувати коливання колеса, налаштовуючи амортизацію чи щільність обертання. Це важливо для керування точністю, адже дозволяє системі «налаштуватися» під конкретну вагу й умови зйомки.

На рисунку 3.11 продемонстрована 3D модель прототипу в перспективі для більш наглядного розуміння конструкції.

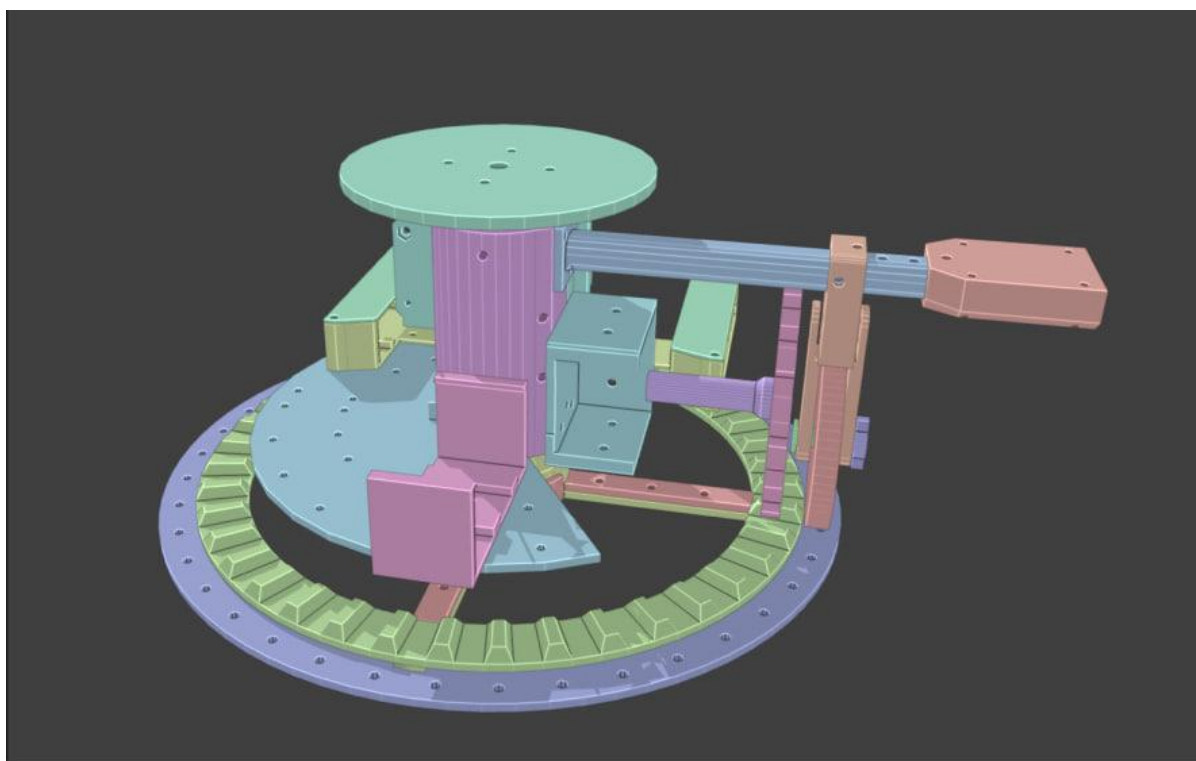


Рисунок 3.11 – Поворотний стіл вид в перспективі

Як видно на рисунку 3.12, конструкція системи передбачає наявність численних додаткових отворів, розташованих у ключових вузлах механізму. Вони виконують не тільки роль кріпильних точок для наявних елементів, але й надають можливість гнучко змінювати конфігурацію всієї установки під конкретні задачі. Іншими словами, завдяки цим отворам досить просто встановлювати додаткові модулі, розширювати механіку або адаптувати конструкцію до збільшення чи зменшення габаритів об'єкта сканування.

Одна з ідей полягає в тому, що користувач може самостійно обирати, куди саме прикріпити допоміжні деталі. Це можуть бути, наприклад, кронштейни для освітлювальних приладів, додаткові сенсори чи навіть цілком нові елементи керування. Подібна модульність дає змогу змінювати систему залежно від вимог або особливостей проєкту, будь то зйомка дрібних ювелірних виробів чи масштабніший процес, як-от сканування великогабаритного обладнання.

Особлива увага до цих отворів у конструкції забезпечує іще одну важливу перевагу можливість швидкої модернізації. Скажімо, якщо надалі з'явиться потреба у збільшенні жорсткості або у введенні додаткової опори для камери, достатньо скористатися наявними монтажними точками та прикрутити нові елементи. Такий підхід суттєво спрощує процес розвитку системи, бо немає необхідності щоразу повністю переорієнтовувати конструкцію, перепаявати електронні компоненти або вдаватися до складних переробок усієї механіки.

Крім того, універсальна система кріплень може стати в пригоді при зміні умов роботи. Наприклад, якщо сканування проводиться просто неба і потрібно встановити додатковий захист від погодних чинників або закріпити модуль для стабілізації вітрового навантаження, усі ці доопрацювання можна реалізувати за допомогою існуючих отворів. Те саме стосується й можливості «перевтілення» платформи зі звичайної конструкції в більш професійний або лабораторний стенд з датчиками та вимірювальним обладнанням.

Таким чином, те, що на перший погляд здається лише наявністю кількох додаткових отворів у корпусі, насправді відкриває широкі горизонти розширення

функціоналу всієї системи. Користувач отримує набагато більше свободи у визначенні того, як саме йому налаштувати або покращити установку, будь то зміна висоти камери, додавання нових площин сканування чи навіть монтаж спеціалізованих пристосувань для розміщення об'єктів складної форми. Це ще більше підкреслює гнучкість та універсальність розробленої конструкції, яка без особливих зусиль може еволюціонувати разом із потребами проєкту чи вимогами дослідницьких робіт.

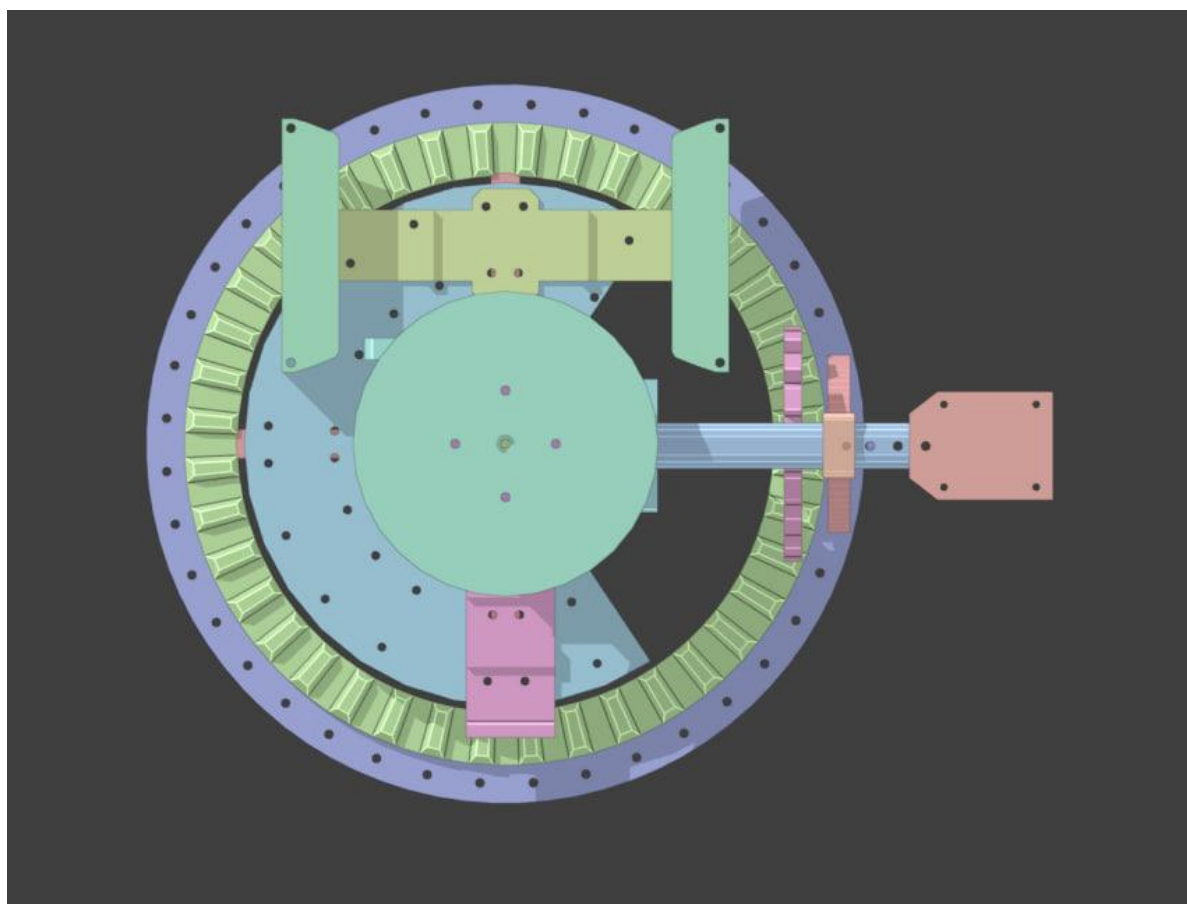


Рисунок 3.12 – Поворотний стіл вид зверху

Нижче на рисунку 3.13 наведена блок-схема, яка ілюструє відносно простий, проте водночас змістовний підхід до того, як програма «спілкується» з послідовним портом і реагує на текстові команди для запуску або зупинки певного процесу. Головна ідея полягає в тому, що програма постійно «прислухається» до даних, які надходять через серійний канал: це можуть бути команди start, stop чи інші службові повідомлення. У такий спосіб оператор або

інша система можуть в реальному часі змінювати стан програми, активуючи або зупиняючи потрібний функціонал.

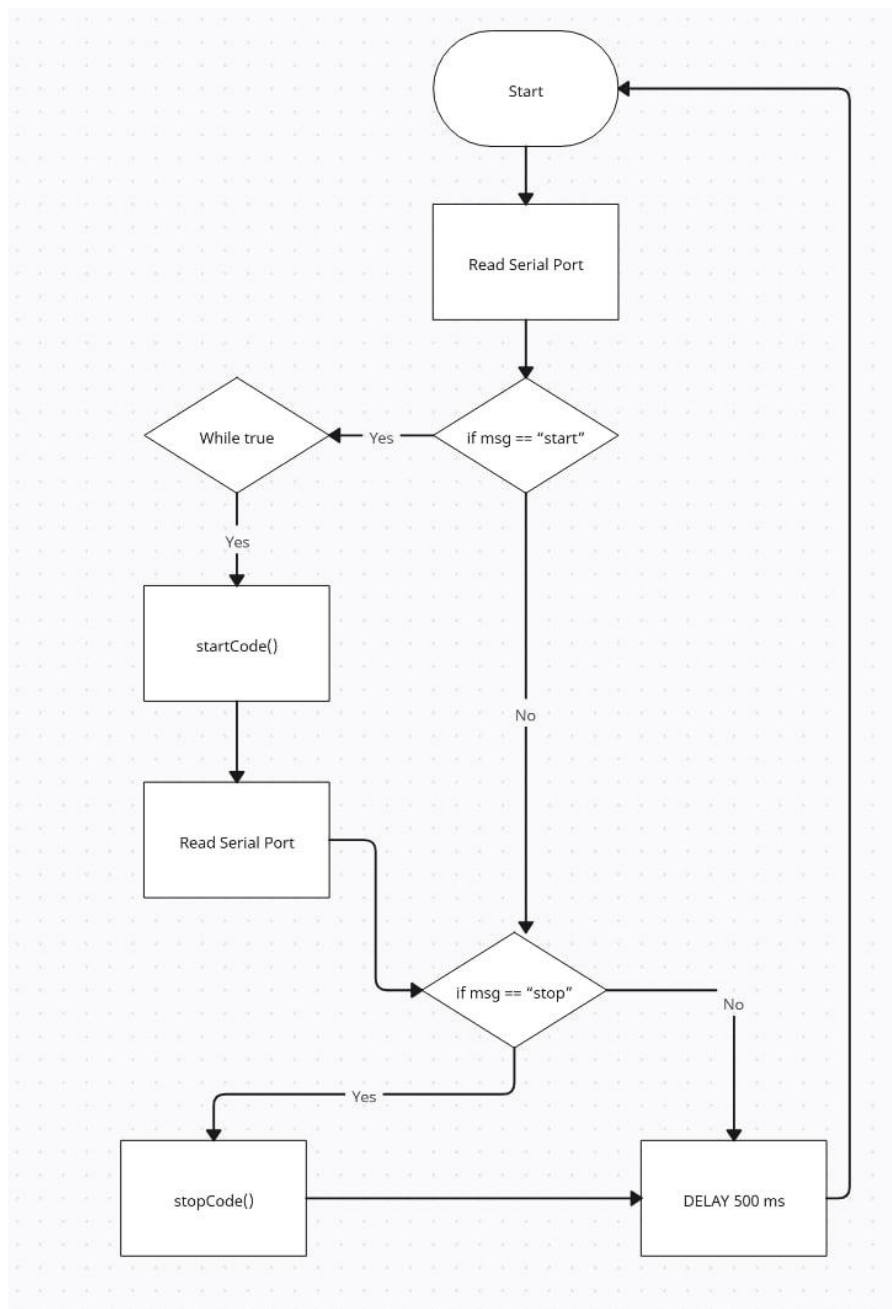


Рисунок 3.13 – Загальна блок схема коду

Спочатку програма перебуває у вихідному стані й невідривно стежить за даними, що надходять по послідовному каналу зв'язку. Припустимо, що цей серійний порт – це типовий спосіб, яким користується оператор або інша система для надсилання текстових чи байтових команд у вигляді рядків start та stop.

Коли програма отримує нове повідомлення, вона перевіряє, чи збігається воно з командою `start`. Якщо так, здійснюється перехід до блоку `While true`. У такий спосіб програма, по суті, вступає в безкінечний цикл, у якому спершу викликається `startCode()`. Можна собі уявити, що `startCode()` відповідає за початок певного завдання: припустімо, це може бути ініціалізація руху моторів, зчитування датчиків або збір будь-яких інших даних. Усе це виконується разом, допоки триває цикл. Після виклику `'startCode()'` програма знову очікує у стані читання серійного порту. Завдяки такому циклічному підходу можна досягти безперервної роботи обраних механізмів чи логіки, не переймаючись тим, що програма перерветься сама.

Поки не надійде нова команда, описаний цикл не переривається. Програма просто прочитає послідовний порт у пошуках можливих змін. Якщо ж раптом з'являється команда `stop`, управління переходить у функцію `stopCode()`. Саме вона завершує те, що було запущено `startCode()`: припиняє рух двигунів, зупиняє запис даних, завершує відправлення сигналів чи будь-яку іншу логіку, яка була активована під час роботи програми в режимі `start`. Таке змикання між `startCode()` і `stopCode()` створює чітку межу між активним і пасивним станом системи, що дозволяє оператору або скрипту ззовні легко керувати процесами без додаткових складних перевірок.

З іншого боку, якщо вхідні дані в серійному порту зовсім не збігаються з `start` чи `stop` або коли взагалі не надходить жодного повідомлення, програма вдається до короткочасної паузи (`DELAY 500` мс). Така затримка зазвичай потрібна, щоб не перевантажувати систему нескінченною кількістю зчитувань і порівнянь, даючи їй змогу працювати в помірному темпі і не зациклюватися надто агресивно. Після паузи вона знову повертається до початкового стану й робить наступну спробу зчитати серійні дані. Цей підхід добре оптимізує роботу: з одного боку, дає змогу постійно прислухатися до вхідних команд, а з іншого — не витрачає надто багато ресурсів процесора на порожній цикл.

Уся ця логіка має досить універсальний характер і часто зустрічається в Arduino проєктах, у програмах під мікроконтролери, а іноді й у більших застосунках, де серійний порт править за простий канал обміну повідомленнями. Оператор (або вбудована система) надсилає start, щоб запустити основний цикл роботи, а stop – щоб вивести програму з цього циклу та зупинити всі дії. Якщо ж трапляються будь-які інші повідомлення, програма робить коротку затримку, щоб перевести подих, і повертається в початковий стан. Завдяки такому підходу досягається природна реалізація прослуховування послідовного порту, де програма несе мінімальні витрати ресурсів та максимально ясну логіку обробки кожної команди.

У результаті маємо зручну, лінійно структуровану схему, де start і stop визначають активні чи пасивні режими системи, а коротка затримка та повторний цикл читання порту не дають програмі зависати в очікуванні, блокуючи інші можливі функції. Така модель керування чудово годиться, якщо потрібно запускати якийсь процес на невизначений час (наприклад, вимірювання, рух двигуна, збирання інформації з датчиків) і зупиняти його за командою користувача або автоматичної події. Логіка реалізується прозоро та відносно просто, що полегшує налагодження та майбутній розвиток коду. На рисунку 3.14 продемонстрований прототип фотограметричної системи з використанням автоматичного поворотного столу.

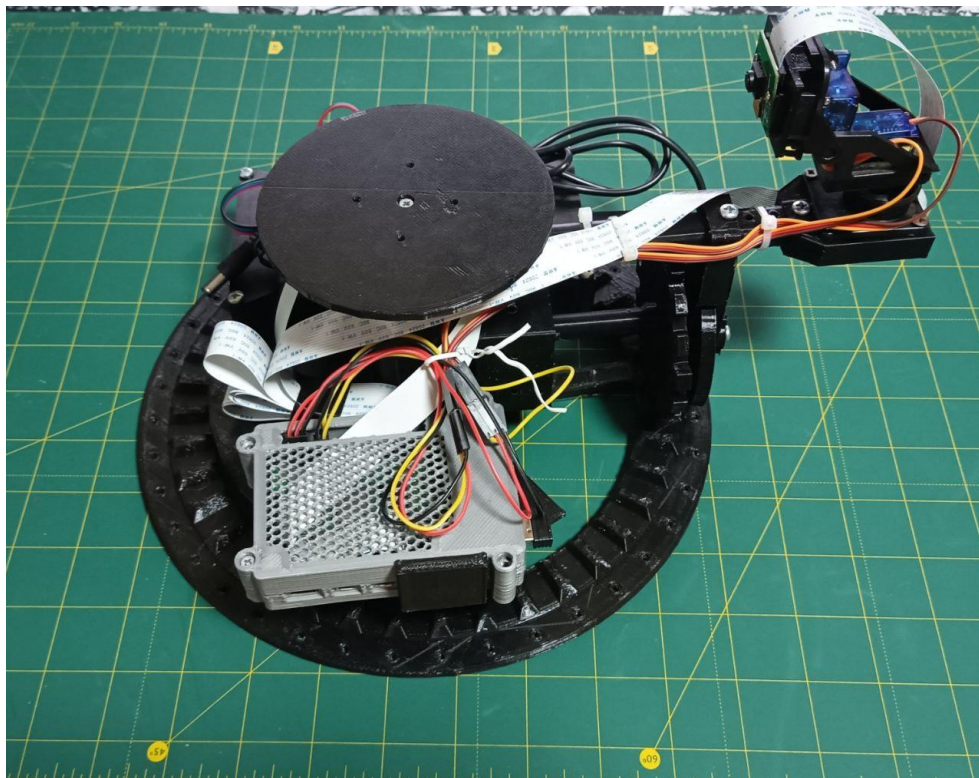


Рисунок 3.14 – Реалізований прототип фотограметричної системи

Запропоновану систему можна розширити кількома способами, перетворюючи її з компактного автоматичного станду на більш універсальний роботизований комплекс. Одним із найцікавіших напрямів для вдосконалення є інтеграція роботизованої руки, яка могла б управляти висотою та кутом нахилу камери. Це дозволить отримувати зображення об'єкта під набагато ширшим діапазоном ракурсів, не обмежуючись лише одним рівнем висоти чи одним горизонтом огляду.

Також перспективним доповненням може стати система комп'ютерного зору, здатна динамічно відстежувати конкретну деталь чи зону об'єкта та автоматично фокусувати камеру на ній. У такій конфігурації камера не просто зніматиме об'єкт із різних кутів, а й самостійно «розумітиме», в якому місці потрібно сфокусуватися, щоб отримати достатню різкість і деталізацію. Наприклад, це може бути мікротріщина на поверхні або певний декоративний елемент, важливий для подальшого аналізу чи 3D-моделювання.

Поєднання в одній системі роботизованої руки та алгоритмів машинного зору створює можливості для максимальної автоматизації фотограмметричного процесу. Це не лише покращує якість кінцевих моделей, а й економить час, адже в більшості випадків усі етапи зйомки можуть відбуватися без втручання людини.

Завдяки такому підходу сучасні методи фотограмметрії стають ще гнучкішими. Можна переходити від сканування маленьких предметів до більших артефактів чи деталей складної форми, одночасно зберігаючи високу точність і якість знімків. У перспективі подібна система здатна не лише «визначати» оптимальний кут огляду, а й вносити поправки в реальному часі, наприклад, якщо виявиться, що певна частина об'єкта не експонована або погано відображена через тіні чи відблиски, роботизований маніпулятор змінить освітлення або розташування камери.

ВИСНОВКИ

Проведено детальний огляд методів створення 3D моделей з використанням автоматичного поворотного столу, включаючи апаратну та програмну частини, а також алгоритми та взаємодію з Arduino Uno та Raspberry Pi 4. На основі проведеного дослідження узагальнено результати експериментальної роботи та виявлено, що розробка фотограметричної системи має гарні перспективи у подальшому застосуванні в багатьох сферах людської діяльності.

Проаналізовано стан розвитку та аспекти системи фотограметричного створення 3D моделей.

Проведено дослідження методу створення 3D-моделей з використанням автоматичного поворотного столу, що засвідчило його ефективність як одного з ключових інструментів для оптимального функціонування фотограметричних систем.

Виявлено, що фотограметрична система є ефективною та має потенціал для застосування в різних сферах людської діяльності. Отримані результати підтверджують актуальність досліджень методів створення 3D моделей за допомогою фотограметричних систем з використанням автоматичного поворотного столу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Aarav G. How to Make Line Follower Robot Using Arduino. URL: <https://www.instructables.com/Line-Follower-Robot-Using-Arduino-2/> (дата звернення: 10.11.2024).
2. Alby E., Grussenmeyer P., Perrin J. Visualization of architectural works by photogrammetry: a compromise between measurement and representation. P. 12. URL: <https://shs.hal.science/halshs-00264437/document> (дата звернення: 12.11.2024).
3. Dent S. Google used photogrammetry to create a detailed VR tour of Versailles. URL: <https://www.engadget.com/2019-09-30-google-used-photogrammetry-to-create-a-detailed-vr-tour-of-versa.html> (дата звернення: 15.11.2024).
4. Firzal Y. Arhitectural photogrammetry: a low-cost image acquisition method in documenting built environment. P. 6. URL: <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/207/1203> (дата звернення: 18.11.2024).
5. Marin-Buzon C., Perez-Romero A., Lopez-Castro J., Jerbania I., Manzano Agugliaro F. Photogrammetry as a New Scientific Tool in Archaeology: Worldwide Research Trends. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/5319> (дата звернення: 20.11.2024).
6. Photogrammetry Increasingly Used for Automated Production Measurements. URL: <https://metrology.news/photogrammetry-increasingly-used-for-automated-production-measurements/> (дата звернення: 22.10.2024).
7. Pounder L. How To Use Picamera2 to Take Photos With Raspberry Pi. URL: <https://www.tomshardware.com/how-to/use-picamera2-take-photos-with-raspberry-pi> (дата звернення: 21.11.2024)

8. Raspberry Pi Arduino Serial Communication – Everything You Need To Know. URL: <https://roboticsbackend.com/raspberry-pi-arduino-serial-communication/> (дата звернення: 26.11.2024).

9. Serial communication between Raspberry Pi and Arduino. URL: <https://www.aranacorp.com/en/serial-communication-between-raspberry-pi-and-arduino/> (дата звернення: 26.11.2024).

10. Time – Time access and conversions. URL: <https://docs.python.org/3/library/time.html> (дата звернення: 25.11.2024).

11. Welcome to pySerial`s documentation. URL: <https://pyserial.readthedocs.io/en/latest/index.html> (дата звернення: 24.11.2024).

12. What is Photogrammetry? URL: <https://gisgeography.com/what-is-photogrammetry/> (дата звернення: 02.11.2024).

13. Woolsey J. Controlling An Arduino From A Raspberry Pi. URL: <https://www.woolseyworkshop.com/2020/02/05/controlling-an-arduino-from-a-raspberry-pi/> (дата звернення: 01.11.2024).

ДОДАТОК А ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ДИПЛОМНА РОБОТА
на ступінь вищої освіти магістр
із спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Фотограмметричний метод створення 3D моделей з використанням автоматичного поворотного столу

Виконав: студент 6 курсу, групи КНДМ-62

Пащенко Нікіта Олегович

Керівник: завідувач кафедри Комп'ютерних
наук

к.т.н., Котелянець В.В.

Київ - 2024

Слайд 1

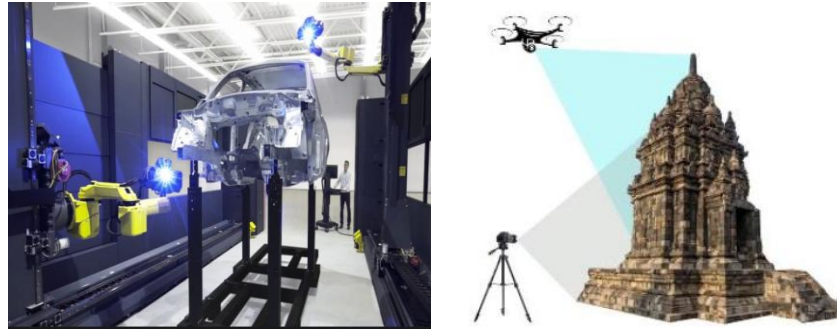
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Тема	Фотограмметричний метод створення 3D моделей з використанням автоматичного поворотного столу
Мета дослідження	впровадження інтегрованої системи для автоматизованого отримання зображення об'єктів
Наукове завдання	розробка прототипу фотограмметричної системи з використанням автоматичного поворотного столу
Об'єкт дослідження	процес отримання цифрових зображень об'єктів і побудова їхніх тривимірних моделей фотограмметричними системами
Предмет дослідження	архітектура та програмно-апаратні рішення та алгоритми, що забезпечують роботу інтегрованої фотограмметричної системи

Слайд 2

Перспективи застосування фотограметричних систем

Фотограмметрія ефективна в архітектурі, будівництві та промисловості для швидкого створення точних 3D-моделей і контролю якості.



Слайд 3

Огляд основних компонентів системи: Arduino Uno



Arduino Uno – це широко використовувана плата мікроконтролерів з відкритим кодом на базі мікроконтролера ATmega328P. У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцових резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для програмування всередині схеми (ICSP) і кнопка ресету.

Слайд 4

Огляд основних компонентів системи: Raspberry Pi 4 та Pi Camera

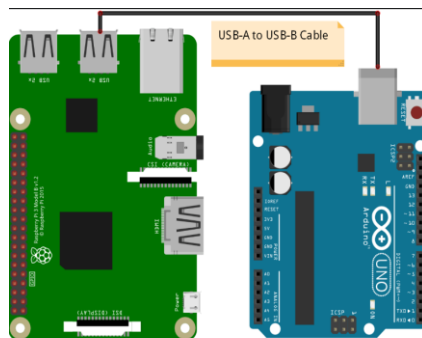


Raspberry Pi – невеликий одноплатний комп'ютер. Широко використовується в багатьох областях, таких як робототехніка, моніторинг погоди та інші. Зазвичай використовується любителями комп'ютерів і електроніки, оскільки використовує стандарти HDMI і USB.



Слайд 5

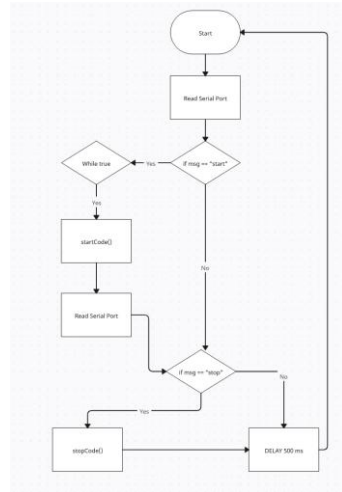
Спількування Raspberry Pi та Arduino Uno за допомогою serial port



За допомогою бібліотеки `serial`, Raspberry Pi може передавати команди руху роботу до Arduino Uno. Наприклад, команда може включати в себе інструкції щодо напрямку руху, швидкості або точки призначення. Arduino Uno отримує цю команду через послідовний порт, розшифровує її та виконує відповідні дії для керування рухом робота.

Слайд 6

Блок-схема фотограмметричної системи

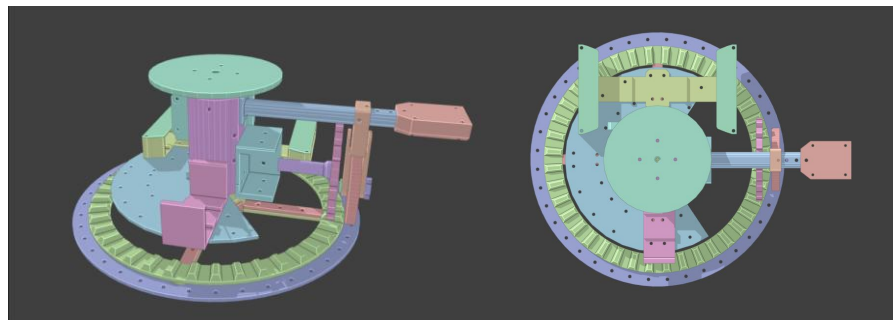


Цей код має важливі кроки ініціалізації та налаштування, які включають встановлення параметрів змінних та компонентів системи. Після ініціалізації, програма переходить до безкінечного циклу, де основна логіка виконується повторно. Починаючи зчитування значення з послідовного порту (Serial Port), програма перевіряє отримане повідомлення. Якщо отримано повідомлення "start", виконується функція "startCode". Це може включати запуск руху робота, активацію сенсорів або інші дії, пов'язані з функціональністю системи. У разі отримання повідомлення "stop", виконується функція "stopCode", яка припиняє виконання певних операцій або зупиняє рух системи. Після затримки програма повертається до початку циклу та починає виконуватися знову, продовжуючи цю послідовність дій для забезпечення багаторазової роботи системи.

Слайд 7

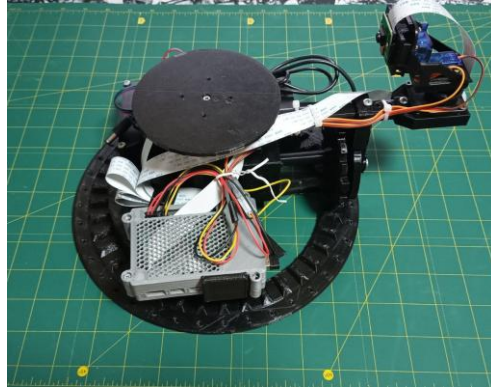
Створення 3D моделі прототипу

Для створення тривимірної моделі прототипу було використано програму Blender. Кожен компонент був створений у вигляді окремого модуля, що дозволяє легко вносити зміни або замінювати окремі частини при потребі. Завдяки модульному підходу, модель можна адаптувати до різних вимог чи покращувати її функціональність без необхідності повного перероблення всієї структури.



Слайд 8

Реалізований прототип системи



Розроблено діючий прототип системи, що об'єднує автоматичний поворотний стіл (керований Arduino Uno) та мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 для синхронної фотозйомки об'єкта.

Слайд 9

Можливості для масштабування та покращення системи



Розроблена система має значний потенціал для подальшого вдосконалення та розширення функціональності. Однією з головних можливостей є збільшення розміру платформи для сканування більших об'єктів, що дозволить охопити ширший спектр застосувань.

Слайд 10

ВИСНОВКИ

Проведено детальний огляд методів створення 3D моделей з використанням автоматичного поворотного столу, включаючи апаратну та програмну частини, а також алгоритми та взаємодію з Arduino Uno та Raspberry Pi 4. На основі проведеного дослідження узагальнено результати експериментальної роботи та виявлено, що розробка фотограметричної системи має гарні перспективи у подальшому застосуванні в багатьох сферах людської діяльності.

Проаналізовано стан розвитку та аспекти системи фотограметричного створення 3D моделей.

Проведено дослідження методу створення 3D-моделей з використанням автоматичного поворотного столу, що засвідчило його ефективність як одного з ключових інструментів для оптимального функціонування фотограметричних систем.

Виявлено, що фотограметрична система є ефективною та має потенціал для застосування в різних сферах людської діяльності. Отримані результати підтверджують актуальність досліджень методів створення 3D моделей за допомогою фотограметричних систем з використанням автоматичного поворотного столу.