

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ

Виконав: студент 2 курсу, групи БК-512м
Спеціальності 172 «Телекомунікації та
радіотехніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____
«Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки»

Денис СТОМАТОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник Наталія ФУРМАНОВА

(прізвище та ініціали)

Рецензент Андрій КОРОТУН

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра Інформаційні технології електронних засобів
Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. зав. кафедри ІТЕЗ Малий О.Ю.
канд. техн. наук, доцент
“ ” _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Стоматова Дениса Васильовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка системи лазерного сканування поверхонь
керівник проєкту (роботи) Фурманова Наталя Іванівна, к. т. н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “21” листопада 2023 р. №448
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 26 грудня 2023 року
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Необхідно розробити систему, придатну до складання та використання у побутових умовах, з прийнятною якістю отриманих зображень та мінімізацією собівартості
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
 - 1) Аналіз предметної області;
 - 2) Проєктування системи лазерного сканування;
 - 3) Розробка, встановлення та налаштування програмної складової системи;
 - 4) Оптимізація системи лазерного сканування поверхні та розробка методики обробки зображень
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація – 17 слайдів

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4	Фурманова Н.І., к.т.н., доцент		
Нормоконтроль	Поспєєва І.Є., старший викладач		

7. Дата видачі завдання 04.09.2023 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз основних методів лазерного сканування поверхні	21.09.2023 р.	
2	Аналіз підходів до розробки системи	28.09.2023 р.	
3	Постановка задачі дипломної роботи магістра	05.10.2023 р.	
4	Розробка вимог до системи	07.10.2023 р.	
5	Розробка загальної структури системи лазерного сканування	12.10.2023 р.	
6	Вибір комплектуючих для апаратної частини системи	17.11.2023 р.	
7	Розробка моделей деталей конструкції	19.11.2023 р.	
8	Розробка структурної схеми системи	22.11.2023 р.	
9	Розробка загального алгоритму функціонування системи	26.11.2023 р.	
10	Налаштування роботи системи	29.11.2023 р.	
11	Розробка шляхів оптимізації системи лазерного сканування	30.11.2023 р.	
12	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2023 р.	
13	Проходження нормоконтролю	07.12.2023 р.	
14	Отримання відгуку керівника	14.12.2023 р.	
15	Рецензування	20.12.2023 р.	
16	Захист дипломної роботи магістра	26.12.2023 р.	

Студент

Д.В. Стоматов
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник проєкту (роботи)

Н.І. Фурманова
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 66 с., 34 рис., 1 табл., 19 джерел, 1 додаток.

ЛАЗЕР, СКАНУВАННЯ, СИСТЕМА, ЗД, ПРОЄКТУВАННЯ,
ОПТИМІЗАЦІЯ, АЛГОРИТМ, ARDUINO, ФУНКЦІОНУВАННЯ,
ЛАЗЕРНИЙ СЛІД

Об'єкт розробки – система лазерного сканування поверхні.

Мета роботи – створення програмно-апаратного комплексу лазерного сканування об'єктів, що може використовуватись у побутових умовах.

У першому розділі описано процес лазерного сканування поверхонь, розглянуто основні методи формування 3Д-моделі об'єктів дослідження, виконано їх порівняння. Наведено загальну структуру систем лазерного сканування, описано області застосування таких систем. Проаналізовано загальний підхід до розробки систем лазерного сканування, виконано постановку задачі дипломної роботи магістра.

У другому розділі деталізується процес проєктування системи лазерного сканування поверхонь. Визначені ключові вимоги до системи, які лягають в основу всієї концепції і визначають основні аспекти та напрямки розробки. Описується вибір комплектуючих до апаратної частини розроблюваної системи, наводяться моделі розроблених деталей, що можуть бути виготовлені за допомогою адитивних технологій. Наведена структурна схема системи, описане функціонування розробленої системи сканування поверхонь, що призначена для використання у побутових умовах. Запропоновані рекомендації щодо техніки безпеки при використанні розробленої системи.

У третьому розділі описується процес прошивки плати, встановлення програмного забезпечення для сканування, виконання операцій для калібрування системи, а також написання плагінів для удосконалення роботи системи.

В четвертому розділі запропоновані шляхи оптимізації алгоритму роботи системи лазерного сканування, пов'язані із апаратними та програмними рішеннями. Запропоновано оптимізований алгоритм визначення відмінностей між зображеннями та виділення лазерного сліду, який спрямований на покращення ефективності та точності.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	11
1.1 Основні методи лазерного сканування поверхонь	11
1.2 Загальний процес лазерного сканування поверхні.....	20
1.3 Області застосування лазерного сканування	21
1.4 Підходи до розробки системи лазерного сканування поверхні	23
1.5 Постановка задачі дипломної роботи магістра.....	24
2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ПОВЕРХНІ ДЛЯ ПОБУТОВОГО ВИКОРИСТАННЯ.....	26
2.1 Вимоги до системи лазерного сканування	26
2.2 Розробка загальної структури системи лазерного сканування	27
2.3 Вибір комплектуючих для апаратної частини системи лазерного сканування.....	29
2.4 Розробка структурної схеми системи робота.....	39
2.5 Рекомендації щодо складання апаратної частини системи лазерного сканування.....	41
2.6 Функціонування системи лазерного сканування поверхні.....	42
2.7 Рекомендації щодо техніки безпеки.....	45
3 РОЗРОБКА, ВСТАНОВЛЕННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ.....	47
3.1 Прошивка плати	47
3.2 Встановлення програмного забезпечення та виконання калібрування.....	48

3.3 Сканування та обробка	54
3.4 Розробка плагіна для програмного забезпечення системи лазерного сканування поверхні	55
4 ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ПОВЕРХНІ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ	57
4.1 Шляхи оптимізації алгоритму роботи системи лазерного сканування	57
4.2 Оптимізований алгоритм визначення відмінностей між зображеннями під час сканування	59
ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	64
Додаток А	67
Додаток Б	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3D	3-dimensional, тривимірний
CAD	Computer-aided design система автоматизованого проектування
GPS	Global Positioning System система глобального позиціонування
HDR	High Dynamic Range Imaging загальна назва технологій роботи із зображеннями і відео, діапазон яскравості яких перевищує можливості стандартних технологій відображення зображень.
LiDAR	Light Identification, Detection and Ranging технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою лазерного випромінювання
RGB	Red, Green, Blue адитивна колірна модель
ToF	time-of-flight camera відеокамера, що формує так зване дальнісне зображення
ПЗ	програмне забезпечення
САПР	система автоматизації проектувальних робіт

ВСТУП

3D-лазерне сканування – це безконтактна неруйнівна технологія, яка цифровим способом фіксує форму фізичних об'єктів за допомогою лінії лазерного світла. 3D-лазерні сканери створюють «хмари точок» даних із поверхні об'єкта [1]. Іншими словами, 3D-лазерне сканування – це спосіб зафіксувати точний розмір і форму фізичного об'єкта в комп'ютерному світі як цифрове тривимірне представлення.

3D-лазерні сканери вимірюють дрібні деталі та фіксують форми довільної форми для швидкого створення високоточних хмар точок. 3D-лазерне сканування ідеально підходить для вимірювання та перевірки контурних поверхонь і складних геометрій, які вимагають величезних обсягів даних для їх точного опису, і де це є непрактичним з використанням традиційних методів вимірювання або сенсорного щупа.

Процес 3D-лазерного сканування виглядає наступним чином. Об'єкт, який потрібно відсканувати лазером, розміщують на платформі цифрового пристрою. Спеціалізоване програмне забезпечення керує лазерним зондом над поверхнею об'єкта. Лазерний зонд проектує лінію лазерного світла на поверхню, тоді як 2 сенсорні камери безперервно записують зміну відстані та форми лазерної лінії в трьох вимірах (XYZ), коли вона проходить уздовж об'єкта.

Отримані дані щодо форми об'єкта виглядають як мільйони точок, які називаються «хмарою точок» на моніторі комп'ютера, коли лазер рухається навколо, захоплюючи всю форму поверхні об'єкта. Швидкість та точність виконання сканування залежить від використовуваного апаратного та програмного забезпечення та особливостей форми об'єкта, що сканується.

Після створення великих за обсягом файлів даних хмари точок вони реєструються та об'єднуються в одне тривимірне представлення об'єкта та обробляються різними програмними пакетами, придатними для конкретного застосування.

Якщо дані будуть використані для перевірки, відсканований об'єкт можна порівняти з номінальними даними САПР дизайнера. Результат цього процесу порівняння надається у формі «звіту про відхилення кольорової карти» у форматі PDF, у якому графічно описуються відмінності між даними сканування та даними САД.

Лазерне сканування – це найшвидший, найточніший і автоматизований спосіб отримання тривимірних цифрових даних для зворотного проектування. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення дані хмари точок використовуються для створення 3D-моделі САД геометрії деталі. Модель САПР дозволяє точно відтворити відсканований об'єкт, або об'єкт можна змінити в моделі САПР, щоб виправити недоліки.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

У першому розділі описано процес лазерного сканування поверхонь, розглянуто основні методи формування 3Д-моделі об'єктів дослідження, виконано їх порівняння. Наведено загальну структуру систем лазерного сканування, описано області застосування таких систем. Проаналізовано загальний підхід до розробки систем лазерного сканування, виконано постановку задачі дипломної роботи магістра.

1.1 Основні методи лазерного сканування поверхонь

Процес лазерного сканування поверхонь – це техніка збору точних даних про форму, розміри та характеристики поверхні об'єктів за допомогою лазерних променів. Основний принцип полягає в використанні лазерного променя для вимірювання відстаней до точок на поверхні об'єкта і побудови тривимірної моделі цієї поверхні.

Лазерне сканування може забезпечити високу швидкість процесу, який пропонує підхід для отримання тривимірних просторових даних. Методика забезпечує поверхневі тривимірні вимірювання будь-якої маломасштабної, великомасштабної, складної, нерегулярної, стандартної чи нестандартної реальної сцени. Отримані дані візуалізуються за допомогою створення хмар точок із кінцевими результатами, які можна побачити за допомогою лінійних малюнків, моделей CAD, тривимірних моделей поверхні та відеоанімації; діючи як розширений комунікаційний пристрій, який має здатність візуалізувати об'єкти реального світу в тривимірному просторі. Це найефективніший спосіб швидкого отримання даних про спостережуваний об'єкт і він дає змогу вимірювати площі, які раніше не вдалося зібрати, наприклад ті, що були зібрані за допомогою креслень вручну або тахеометра [2].

Також 3D-модель поверхні може бути отримано за допомогою фотограмметрії. Фотограмметрія – це технологія, яка створює 3D-зображення поверхні шляхом поєднання кількох її фотографій. На відміну від професійних технологій 3D-сканування, для фотограмметрії не потрібен 3D-сканер. Фотознімки здійснюються за допомогою фотокамери. Створення моделі можна реалізовувати, використовуючи фотографії, зроблені будь-чим – від портативного смартфона до дрона. Знімки 2D-камери обробляються програмним забезпеченням фотограмметрії з урахуванням багатьох факторів, насамперед фокусної відстані камери, спотворення та роздільної здатності об'єктива, положення та кути камери під час зйомки об'єкта, а також наявності достатнього поля зору камери. При цьому враховується перекриття між фотографіями суміжних областей [3].

Лазерне сканування збирається через систематичну регулярну сітку, тоді як такі методи запису, як фотограмметрія, зосереджені на розривах об'єкта та репрезентативних структурах. Завдяки збору кількох позицій сканування створюються набори даних, що перекриваються, а за допомогою методології покрокового запису створюється загальна модель. Кожне сканування надає просторову інформацію, але зібрані дані не містять усієї необхідної інформації; створення сканів із додаткових місць або позицій дає змогу заповнити прогалини та завершити повний запис. Існує три різних типи техніки лазерного сканування: триангуляція або лазерне сканування діапазону; лазерне сканування під час переміщення; і фазове лазерне сканування [4].

Кожен метод надає різні способи захоплення та обробки записаних об'єктів. Їх реалізація здійснюється за тими самими методологічними підходами, шляхом попередньої обробки даних за допомогою сканера та дослідження відповідного об'єкта чи місця; запис об'єктів; зшивання кількох сканів разом; та обробка результатів. Незважаючи на те, що використовуються схожі методології, можна помітити відмінності в кожному з трьох типів техніки. Щоб отримати найкращі результати, кожна техніка потребує певного розуміння її технології, щоб сформулювати структуру захоплення. Після

правильного запису дані можуть бути значною мірою використані для досліджень і аналізів змін у наступних записах.

1.1.1 Тріангуляція

Тріангуляція, метод, який зазвичай використовується під час лазерного сканування невеликих об'єктів, проектує світлові плями або лінії на поверхню об'єкта (рис. 1.1). Він покладається на камеру із зарядовим зв'язком, щоб зафіксувати позицію плями або лінії, а сканер записує кут світлового променя. Розраховуючи співвідношення між цими елементами, техніка визначає відстані. Точність остаточного сканування значною мірою залежить від точної реєстрації кута світла. Однак помилки, особливо у визначенні країв, більш помітні в методах сканування на основі тріангуляції. Ці помилки проявляються як згладжені дані, які неточно представляють краї. Вони виникають, коли лазерна точка або лінія частково видно на краю, фіксується камерою із зарядовим зв'язком в цілому, що призводить до зміщення, яке сканер намагається ідеально узгодити. Такі помилки є типовими для тріангуляційних сканерів, але їх можна виправити за допомогою постредагування.

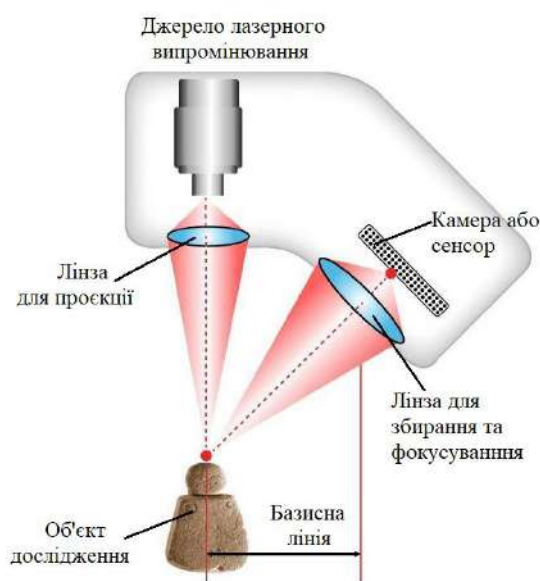


Рисунок 1.1 – Лазерне сканування методом тріангуляції (зображення з джерела [5])

Сканери на основі тріангуляції вимагають кількох близьких положень сканування, щоб зменшити типові проблеми з полем зору. Процес передбачає захоплення карти діапазону, перетворення її в точкові дані, створення сітки та усунення небажаних помилок. Багаторазове сканування створює надлишкові дані, що перекриваються, утворюючи єдине сканування. Однак ці сканери обмежені в робочому діапазоні світла; надмірно темне або яскраве середовище впливає на їх функціональність. Крім того, їм важко записати чорні або блискучі поверхні, якщо не використовується технологія синього світла. Інтегрована технологія синього світла проектує візерунки на поверхні, які дві камери фіксують і аналізують на різницю глибини, пропонуючи точні вимірювання. На відміну від систем, де вимірювання залежать від контакту поверхні світла, технологія синього світла забезпечує повне захоплення поверхні. Хоча технологія синього світла нагадує обробку структурованого світла, вона забезпечує мікронну роздільну здатність і чудово записує темні або блискучі поверхні.

Такий метод сканування реалізовано, зокрема, в сканері на основі сенсора Wired(Corded) Laser Triangulation Sensor OPTIMESS-SC BY ELAG (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Wired (Corded) Laser Triangulation Sensor OPTIMESS-SC BY ELAG (зображення з джерела [6])

1.1.2 Метод сканування за часом польоту

Метод сканування за часом польоту (time of flight – ToF), який використовує швидкість світла, працює шляхом проектування лазерного променя на поверхню та вимірювання часу його повернення. Розраховуючи час, необхідний для повернення лазерного променя, сканер ToF визначає відстань (рис. 1.3).

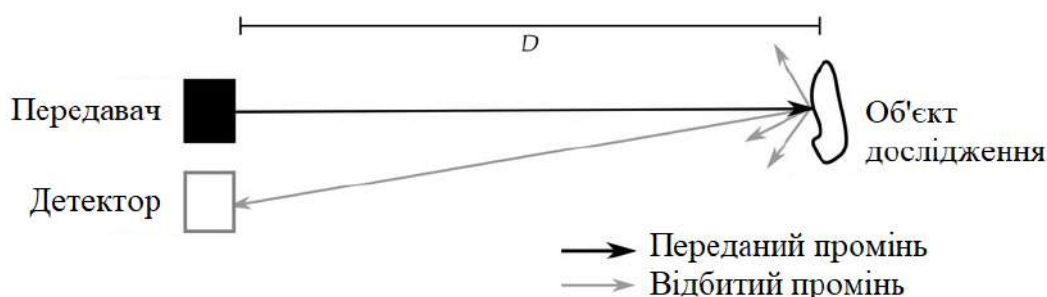


Рисунок 1.3 – Лазерне сканування за часом польоту (зображення з джерела [7])

Як правило, сканери ToF фіксують інтервали в пікосекунду за допомогою обертового дзеркала, що дозволяє швидко отримувати кілька сотень тисяч точок за секунду. В основному використовується для великих відстаней, метод пропонує горизонтальний огляд 360° із фіксованого положення для захоплення LiDAR. Ці сканери пропонують ручне налаштування роздільної здатності та відстані у своєму програмному забезпеченні захоплення, а також фіксацію значень RGB на точку шляхом інтеграції фотографій у хмари точок.

Незважаючи на свої переваги, сканування за часом польоту має недоліки. Запис сканування займає багато часу, займає кілька годин, залежно від вибраної відстані, роздільної здатності та обладнання. Більша щільність точок не обов'язково зменшує час сканування. Оператори часто розташовують сканер по центру для загального сканування, зосереджуючись на конкретних ділянках згодом із різними відстанями точок. Зйомка у великих громадських

місцях викликає труднощі. Більші відстані вимагають потужніших джерел світла, як правило, лазерів класу 2 або 3, що вимагає безпечної відстані для операторів і людей. Переривання руху під час сканування генерує небажані дані, що призводить до помилок у зворотному сигналі.

Такий метод сканування реалізовано, зокрема, в сканері Helios ToF 3D camera features Sony's DepthSense IMX556PLR (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Helios ToF 3D camera features Sony's DepthSense IMX556PLR backside-illuminated (BSI) sensor. (зображення з джерела [8])

1.1.3 Фазове лазерне сканування

Фазове лазерне сканування – це метод, подібний до попереднього, за винятком того, що порівнюються вихідні та зворотні сигнали одного лазерного променя, а не обчислюється час, необхідний для повернення світла до пристрою. Фазове лазерне сканування робить це шляхом модуляції потужності лазерного променя, який надсилається, де зміни відстаней обчислюються через різні частоти, що повертаються (рис. 1.5).

Ця методика забезпечує більшу точність даних за рахунок обчислення фазового зсуву лазерного променя; він забезпечує набагато швидший збір даних і пропонує зменшену кількість помилкових даних. Техніка найкраще працює на обмеженій відстані до ста метрів. Новіші рішення фазового сканування надають можливість записувати додаткові відстані, але сканування під час переміщення є кращим варіантом у таких обставинах. Цей

метод, як і у випадку зі сканування під час переміщення, дозволяє збирати дані за будь-яких умов навколишнього освітлення, від дуже темного до надзвичайно яскравого середовища, і включає зйомку фотографій. Більшість існуючих фазових сканерів працюють з обмеженим ручним керуванням щодо відстаней, відстані між точками та кольорової експозиції.

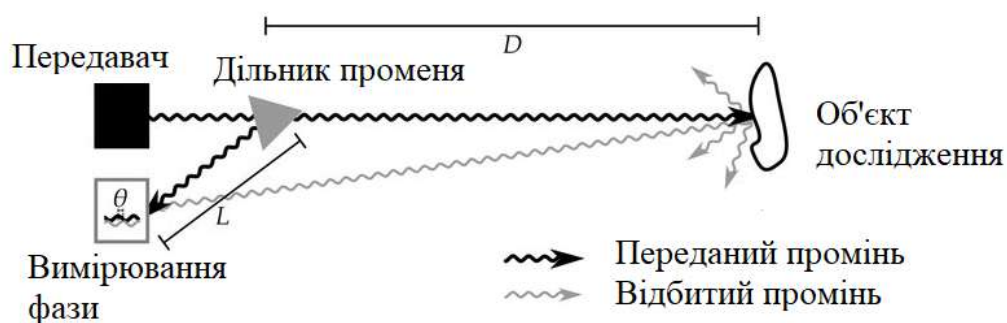


Рисунок 1.5 – Фазове лазерне сканування (зображення з джерела [7])

На відміну від техніки часу польоту, такі сканери не можуть визначити точні області інтересу та сфокусуватися на певному полі зору. Такі системи легші та зручніші в роботі та включають пристрій GPS, датчик висоти, компас і технологію зображення HDR. Доступні на даний момент фазові системи включають лазер класу 1, що обмежує радіус дії пристрою, але робить його безпечним для всіх сценаріїв захоплення. Як для систем сканування під час польоту, так і для фазових систем цілі можна використовувати для збору даних для сприяння процесу зшивання. Поточні пакети програмного забезпечення дозволяють здійснювати пряме порівняння між хмарами, забезпечуючи ефективний контроль над процесом зшивання.

Метод фазового лазерного сканування має низку недоліків. Перший і найважливіший полягає в тому, що лазерне сканування через збір і обробку даних вимагає значної кількості часу, навичок і грошей. Час можна зменшити залежно від об'єкта чи місця, яке аналізується, завдяки правильній підготовці та перспективному мисленню під час збору даних і способу реєстрації кожного сканування. Метод підходить для сканування не всіх типів матеріалів чи

поверхонь. Так, є проблеми зі скануванням блискучих відбиваючих поверхонь через відбиття лазера. Чорні області поглинають лазер і впливають на швидкість віддачі, а ділянки, які містять прозорі елементи, як-от скло, погано скануються через те, що лазерний промінь отримує зображення від зовнішніх та внутрішніх поверхонь об'єкта.

Такий метод сканування реалізовано, зокрема, в сканері FARO Focus Premium (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Сканер FARO Focus Premium польоту (зображення з джерела [9])

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, що робить їх більш або менш відповідними для конкретних завдань сканування. Вибір певного методу лазерного сканування зазвичай залежить від потреби у точності, розмірі об'єкта, умов освітлення, швидкості сканування та бюджетних обмежень.

Короткий порівняльний опис методів лазерного сканування наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння методів сканування поверхні

Метод	Переваги	Недоліки
Метод триангуляції	Ефективний для сканування малих об'єктів, висока точність зі збереженням деталей, швидке сканування.	Вразливість до помилок при реєстрації кутів, складність при скануванні ребер та переходів між поверхнями.
Сканування за часом польоту	Широкий діапазон застосування, висока швидкість сканування для великих відстаней, можливість роботи в різних умовах освітлення.	Довгий час сканування для вищої роздільної здатності, складність у вимірюванні точних довжин великих відстаней
Фазове лазерне сканування	Висока точність, здатність працювати у великих діапазонах відстаней, ефективність при роботі з рухомими об'єктами.	Складність у роботі з відблисками та скляними поверхнями, висока вартість обладнання.
Фотограмметричне сканування	Великий охоплення об'єктів, висока точність вимірювань, можливість отримання детальних текстур поверхонь.	Висока вартість обладнання та програмного забезпечення, чутливість до умов освітлення та зовнішніх факторів.

1.2 Загальний процес лазерного сканування поверхні

Структура системи лазерного сканування поверхні може включати різноманітні компоненти, які спільно працюють для здійснення сканування об'єктів та отримання даних про їх поверхні. Основні складові цієї системи включають:

а) джерело лазерного випромінювання, що генерує лазерний промінь, який використовується для сканування поверхні об'єкта;

б) сенсори, які використовуються для реєстрації відбитого лазерного променя або для вимірювання різних параметрів, таких як час повернення променя, його інтенсивність, анізотропія тощо;

в) оптична система, що включає в себе дзеркала, лінзи або інші оптичні елементи, що спрямовують і фокусують лазерний промінь на поверхні об'єкта;

д) система реєстрації, яка збирає і обробляє дані, отримані від лазерного джерела та сенсорів, для створення тривимірної моделі поверхні об'єкта;

е) механізми позиціонування, що дозволяють точно визначити положення скануючого пристрою в просторі для отримання повністю покриваючого сканування об'єкта;

ж) комп'ютер та програмне забезпечення, що використовуються для управління сканером, обробки та аналізу отриманих даних, а також для створення тривимірної моделі;

к) живлення та системи охолодження, що забезпечують необхідну енергію для роботи лазерного сканера та вирішують питання теплового режиму під час сканування.

Кожен з цих компонентів відіграє важливу роль у системі лазерного сканування, співпрацюючи для точного та ефективного збору даних про поверхні об'єктів.

Процес лазерного сканування включає наступні кроки:

а) емісія лазерного променя: лазерний промінь направляється на об'єкт, що сканується;

б) відбиття променя: лазерний промінь відбивається від поверхні об'єкта; час повернення променя реєструється сенсором, що дозволяє виміряти відстань до точки на поверхні;

в) сканування поверхні: лазерний промінь сканує поверхню об'єкта покроково, збираючи дані про відстані до різних точок;

г) створення хмари точок: отримані дані про відстані до кожної точки утворюють хмару точок, яка представляє форму та рельєф поверхні об'єкта;

д) обробка даних: отримані дані обробляються спеціальним програмним забезпеченням, яке реконструює тривимірну модель поверхні об'єкта на основі хмари точок;

е) створення тривимірної моделі: інформація з хмари точок використовується для створення точної тривимірної моделі поверхні об'єкта.

1.3 Области застосування лазерного сканування

Лазерні сканери універсальні, прості у використанні та переміщенні, а також точні, що робить їх ідеальним інструментом для багатьох застосувань [10] і галузей, зокрема в наведених нижче:

а) правоохоронні органи та пожежна безпека: лазерні сканери є ефективними інструментами для документування місця злочину, реконструкції місця аварії та аварії, аналізу місця пожежі, судово-медичних розслідувань тощо; лазерне сканування економить години документації та зберігає цифрову копію сцен, які можуть бути екологічно вразливими;

б) безпека та захист: лазерні сканери зберігають дуже детальні цінні дані, які використовуються співробітниками служби безпеки, щоб рятувати життя під час реагування на потенційні загрози;

в) страхування: лазерні сканери використовуються для документування фактичного стану майна в певний момент часу, що допомагає встановити базову вартість і зобов'язання, а також документувати збитки транспортних засобів, пошкоджене майно чи продукти;

г) нафто- та газовидобування: лазерне сканування добре обладнано для допомоги в проектуванні, обслуговуванні та плануванні нафтових платформ і нафтопереробних заводів; вони також дуже корисні для документування складних структур трубопроводів, щоб уникнути проблем із встановленням або помилок;

д) спадщина та збереження історії: лазерне сканування може задокументувати складну геометрію існуючих будівель, щоб вивчити, зберегти або відновити їх;

е) дослідження об'єкта: лазерні сканери можна використовувати для обчислення об'єму, а також для топографічних зйомок і зйомок у будівництві;

ж) будівництво: лазерне сканування може забезпечити безперервну перевірку в польових умовах на кожному етапі життєвого циклу будівельного проекту, допомагаючи передбачити та запобігти помилкам і забезпечуючи суттєву економію коштів, браку та часу;

к) архітектурне та цивільне будівництво: лазерні сканери корисні для запису будівельної документації існуючих будівель і для розробки 3D-моделей як частини планування проекту.

л) управління об'єктами та документація активів: лазерне сканування надає точні дані про складні заводські та заводські установки, корисні для обслуговування та документування активів і об'єктів.

У кожному сценарії застосування лазерний сканер дає точні результати за менший час і з меншою кількістю помилок, ніж інші, більш традиційні методи. В деяких випадках, наприклад, документування злочинів і місць ДТП, заощаджений час може бути критично важливим.

Також може застосовуватись лазерний сканер з використанням модуляції інтенсивності. Ця технологія використовує лазерне випромінювання змінної інтенсивності для створення 3D зображення поверхні об'єкта.

1.4 Підходи до розробки системи лазерного сканування поверхні

Розробка систем лазерного сканування поверхні включає різні підходи, спрямовані на створення високоефективних та точних систем збору даних про поверхні об'єктів. Ось декілька ключових підходів у розробці таких систем.

1.4.1 Вибір технології сканування

Розробники визначають тип технології, що використовуватиметься для сканування (такі як метод тріангуляції, часу польоту, фазової модуляції тощо) відповідно до конкретних потреб та характеристик системи.

1.4.2 Вибір компонентів

Вибір правильних лазерних джерел, датчиків, оптичних систем, механізмів позиціонування та обробки даних - це важливий етап. Розробники мають забезпечити високу точність та надійність кожного компонента системи.

1.4.3 Розробка або вибір програмного забезпечення

Розробка програмного забезпечення для управління сканером, обробки та аналізу даних є важливою частиною процесу. Це дозволяє виконати обробку зібраних даних, створити тривимірні моделі та забезпечити користувачам зручний інтерфейс.

1.4.4 Тестування та валідація

Після розробки системи проводиться тестування для перевірки її працездатності, точності та надійності в різних умовах. Це може включати тестування на макетах або реальних об'єктах.

1.4.5 Постійне вдосконалення

Після випуску системи в експлуатацію проводиться постійний моніторинг та вдосконалення як самої системи, так і програмного забезпечення на основі отриманих відгуків та нових вимог користувачів.

1.4.6 Інтеграція новітніх технологій

Розробники враховують можливості використання новітніх технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання, для поліпшення роботи системи та аналізу отриманих даних.

Ці підходи допомагають створити системи лазерного сканування, які відповідають вимогам точності, швидкості та надійності у різних областях застосування.

1.5 Постановка задачі дипломної роботи магістра

Метою даної дипломної роботи магістра є розробка системи лазерного сканування поверхонь для побутового використання, яка б мала низьку вартість, високу точність сканування ділянок поверхні, а також оптимізоване споживання ресурсів.

Для досягнення цієї мети було визначено такі завдання:

- провести аналіз вимог до розроблюваної системи лазерного сканування поверхні;
- розробити загальну структуру системи;
- здійснити вибір комплектуючих для апаратної частини та обґрунтувати його;
- розробити моделі оригінальних деталей;
- запропонувати схему електричних з'єднань системи;
- виконати складання та надати рекомендації щодо виконання складальних операцій при збірці розробленої системи;

- описати функціонування розробленої системи сканування;
- розробити рекомендації щодо техніки безпеки при побутовому використанні;
- обрати програмне забезпечення та розробити плагін для його удосконалення;
- запропонувати шляхи оптимізації системи лазерного сканування.

Таким чином, дана робота націлена на створення сучасної, простої та недорогій системи лазерного сканування поверхонь, що може використовуватись у побуті.

2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ПОВЕРХНІ ДЛЯ ПОБУТОВОГО ВИКОРИСТАННЯ

У другому розділі деталізується процес проєктування системи лазерного сканування поверхонь. Визначені ключові вимоги до системи, які лягають в основу всієї концепції і визначають основні аспекти та напрямки розробки. Описується вибір комплектуючих до апаратної частини розроблюваної системи, наводяться моделі розроблених деталей, що можуть бути виготовлені за допомогою адитивних технологій. Наведена структурна схема системи, описане функціонування розробленої системи сканування поверхонь, що призначена для використання у побутових умовах. Запропоновані рекомендації щодо техніки безпеки при використанні розробленої системи.

2.1 Вимоги до системи лазерного сканування

Розробка побутової системи лазерного сканування поверхні враховує специфічні потреби та вимоги користувачів у їхньому повсякденному використанні. Ось деякі з ключових вимог до розробки такої системи:

- апаратна частина системи лазерного сканування поверхонь повинна мати просту, компактну та портативну конструкцію;
- собівартість конструкції має бути мінімальною;
- точність сканування та якість отриманих моделей повинні бути задовільними;
- система повинна пропонувати прийнятну швидкість сканування без втрати точності, забезпечуючи швидке отримання результатів для забезпечення зручності користувачів;
- система повинна мати простий та інтуїтивний інтерфейс, доступний для користувачів різного рівня технічної підготовки; користувачі

повинні легко розуміти, як включати, налаштовувати та використовувати систему для сканування поверхонь;

- система повинна мати можливість внесення змін з метою розширення функціональності, що має відображатись як в апаратній, так і в програмній частині;

- покращення якості отриманої моделі (згладжування, вирівнювання тощо) будуть виконуватись за допомогою програмного забезпечення.

- важливою є безпека використання системи, що включає в себе низький ризик для очей та шкіри під час роботи з лазерними джерелами;

- опціонально – можливість підключення та використання системи з різними побутовими пристроями та платформами, наприклад, смартфонами, комп'ютерами чи планшетами.

Ці вимоги спрямовані на створення зручної, ефективної та доступної для користувачів побутової системи лазерного сканування поверхні, яка задовольнятиме потреби звичайних споживачів у скануванні та вимірюванні поверхонь.

2.2 Розробка загальної структури системи лазерного сканування

Розробка загальної структури системи сканування є складним завданням, яке враховує багато різноманітних аспектів. Серед них – вимоги до функціональності, умови використання та обмеження, що пов'язані з вибраними матеріалами і технологіями [11].

Загальна архітектура системи лазерного сканування у побутових умовах може включати наступні основні компоненти:

- лазерні джерела: малопотужні лазерні джерела, що використовуються для проектування променів на поверхні об'єктів для подальшого сканування;

- оптичні системи: включають у себе лінзи, дзеркала або інші оптичні елементи, які фокусують та направляють лазерний промінь на поверхні об'єктів для отримання зображень;
- камери та датчики: використовуються для реєстрації зображень та даних, отриманих в результаті взаємодії лазерного променя з об'єктом;
- механізм позиціонування: система, яка дозволяє рухати або обертати пристрій сканування для отримання повністю покриваючого скану об'єктів;
- обробка даних та програмне забезпечення: компоненти, що відповідають за збір та обробку даних, створення тривимірних моделей та відображення отриманих результатів;
- інтерфейс користувача: додаток або інтерфейс, що надає зручний спосіб керування процесом сканування, встановлення параметрів та відображення результатів для користувача;
- живлення та системи охолодження: компоненти, що забезпечують необхідну енергію для роботи системи та контролюють температурний режим під час сканування.

Ця каркасна архітектура враховує основні компоненти та їх взаємодію для створення ефективної побутової системи лазерного сканування, призначеної для використання у домашніх умовах.

Нами було вирішено обрати структуру, яка відрізняється від описаного вище принципу. Так, в роботі не використовуються оптичні системи, механізм позиціонування пов'язаний не зі сканером, а з поворотною основою, на яку буде встановлюватись об'єкт сканування, інтерфейс для системи буде розроблений в подальшому.

2.3 Вибір комплектуючих для апаратної частини системи лазерного сканування

Вибір комплектуючих для системи лазерного сканування здійснювався відповідно до вимог функціональності, низької вартості, доступності та надійності. У цьому пункті представлено ключові компоненти системи, які було відібрано для реалізації проєкту.

2.3.1 Мікроконтролер

Для забезпечення управління та обробки даних у системі сканування було обрано мікроконтролер NANO V3.0 ATMEGA328 CH340G 5V 16M, представлений на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Плата мікроконтролера Nano V3.0 ATmega328 16M 5V CH340G (зображення з джерела [12])

Цей сумісний з Arduino мікроконтролер Nano V3.0 — це невелика повна плата мікроконтролера на основі MCU ATmega328. Він має майже ту саму функціональність, що й Arduino Duemilanove, але в меншому розмірі. У ньому відсутній лише роз'єм постійного струму, а замість стандартного роз'єму USB використовується більш компактний роз'єм Mini USB (Mini-B).

Він сумісний з програмами Arduino та Arduino IDE. У цій версії Nano використовується контролер інтерфейсу USB CH340G.

Його можна живити через з'єднання Mini-B USB, нерегульоване зовнішнє джерело живлення 6–20 В або регульоване зовнішнє джерело живлення 5 В. Джерелом живлення автоматично вибирається джерело найвищої напруги.

Технічні характеристики мікроконтролера NANO V3.0 ATMEGA328 CH340G 5V 16M:

- мікросхема перетворювача шини USB CH340G;
- робоча напруга (логічний рівень): 5 В;
- 8 аналогових входів: A0 - A7;
- 14 портів цифрового введення / виведення: TX, RX, D2 - D13;
- 6 портів PWM: D3, D5, D6, D9, D10, D11;
- 1 пара послідовних портів трансивера рівня TTL: RX / TX;
- використовує мікроконтролер Atmel Atmega328P-AU із встановленим завантажувачем;
- підтримка завантаження через USB і роз'єм Mini-B Power over Mini-USB;
- рекомендована вхідна напруга: 7 В - 12 В постійного струму на контакті 30 або 5 В на контакті 27;
- максимальна вхідна напруга: 6 В - 20 В;
- підтримує завантаження ISP;
- поставляється з роз'ємними контактами (роз'ємами), які не припаяні до плати для зручності користувача.

2.3.2 Кроковий двигун

Для руху платформи, на якій буде розміщено об'єкт сканування, було обрано кроковий двигун 28BYJ-48 з мікросхемою ULN2003 і платою драйвера, представлений на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Кроковий двигун 28BYJ-48 з мікросхемою ULN2003 і платою драйвера (зображення з джерела [13])

Це 4-фазний кроковий двигун на 5 В постійного струму з 4 котушками з кутом кроку 11,25 або 5,625 градусів, що забезпечує 32 або 64 кроки на двигуні, використовуючи половину або повні кроки. Він також має вбудовану коробку передач 1:64, що робить кроки на валу 2048 або 4096. Він постачається з платою драйвера ULN2003.

Технічні характеристики:

- напруга: 5VDC;
- кут кроку: 5,625 1/64;
- максимальний струм: 300 мА;
- діаметр: 28 мм;
- висота: 19 мм;
- довжина валу: 8 мм;
- розмір плати драйвера: 32x35 мм.

2.3.3 Лазерний модуль

Для забезпечення сканування за допомогою лазерного променя було обрано лазерний модуль червоної лінії 5 мВт 650 нм, що має лазерну головку з регульованим фокусом 5 В COM54, R25 (рис. 2.3).

Цей червоний лазерний модуль із фокусуванням діаметром 12 мм укладений у міцний латунний корпус для кращого розсіювання тепла. Він виробляє червоне, яскраве видиме лазерне світло, придатне для різноманітних промислових вирівнювання та позиціонування. Також чудово підходить для вбудованих електронних проектів, оскільки споживає мало енергії, від 2,8 В до 5,2 В. Доступний і дуже функціональний, що робить цей червоний лазерний модуль відмінним співвідношенням ціни та якості. В описі на прилад вказано, що він може застосуватися як візирний пристрій для орієнтування, в лазерних тестових інструментах, для позиціонування концентричності, позиціонування медичного обладнання, у виробництві сигнального обладнання, а також використовується для саморобних роботів.

Технічні характеристики:

- оптична потужність: 5 мВт;
- довжина хвилі: 650 нм (червоний лазер);
- робоча напруга: DC 3-5 В;
- струм: <40 мА;
- форма променя: лінія;
- фокусування: так;
- кут випромінювання: 120°;
- довжина шнура живлення: 135 мм (5,31 дюйма);
- розміри: Ø12x35 мм.



Рисунок 2.3 – Лазерний модуль червоної лінії 5 мВт 650 нм, з лазерною голівкою з регульованим фокусом 5 В (зображення з джерела [14])

2.3.4 Камера

Для здійснення зйомки об'єкта дослідження була обрана міні веб-камера Hercules 4780733 HD Twist USB 2.0, яку представлено на рисунку 2.4.

Технічні характеристики:

- матриця: CMOS;
- роздільна здатність (відео): 1280x720;
- максимальна частота кадрів: 30 Гц;
- інтерпольована роздільна здатність (фото): 5 млн пікс.;
- налаштування фокусу: фіксований фокус (від ~30 см);
- підключення USB 2.0;
- мікрофон: вбудований;
- цифровий Zoom: 3x;
- опції: кріплення на моніторі, функція стеження за обличчям;
- сумісність із ОС: Windows 7/XP/Vista;
- довжина кабелю: 1,8 м;
- розміри основної частини: 24x36 мм;
- додаткова інформація: гнучка силіконова підставка; різні колірні

рішення.



Рисунок 2.4 – Міні веб-камера Hercules 4780733 HD Twist USB 2.0 Green (зображення з джерела [15])

2.3.5 Живлення та передача даних

Живлення та передача даних здійснюється від комп'ютера або ноутбука через кабель з роз'ємом Mini USB (Mini-B) (рис. 2.5). Отриманої потужності вистачає для функціонування всіх складових, що здебільшого є малопотужними.



Рисунок 2.5 – Кабель з роз'ємом Mini USB (зображення з джерела [16])

2.3.6 Конструктивні деталі

Для розроблюваної системи лазерного сканування було створено моделі конструктивних деталей, які можуть бути роздруковані на 3D-принтері. Деталі мають форму достатньо просту, але функціональну, забезпечують необхідну міцність при відносно невеликих витратах матеріалу і масі, відповідно.

Моделювання деталей було проведено за допомогою Onshape 3D CAD. Onshape – це універсальна система автоматизованого проєктування, яка має широкі можливості окрім безпосереднього моделювання 3D-моделей [17]. Onshape 3D CAD дозволяє параметричне моделювання, командну співпрацю та керування даними, але її сильна сторона – технічні та запасні частини.

Ця платформа є однією з небагатьох професійних систем, що базується на Інтернеті, і всі створені моделі зберігаються у хмарному середовищі. Onshape встановлює привабливу пропозицію для зацікавлених аматорів та виробників: при погодженні на вільне поширення їхніх дизайнів за ліцензією Creative Commons, програмне забезпечення надається безоплатно (з деякими

обмеженнями). Однак, для доступу до всіх нововведень та збереження конфіденційності проєктів необхідна повна платна версія.

Для системи лазерного сканування було розроблено наступні деталі:

- тримач лазера (4 шт);
- плечі для встановлення лазерних модулів (2 шт);
- тримач камери (2 деталі);
- оправа крокового двигуна (1 шт);

Також було використано:

- профіль каркасу 20x20 (2 шт довжиною 140 мм, 1 шт довжиною 120 мм, 1 шт довжиною 250 мм);
- дроти;
- кріпильні деталі (гвинти М3 і М4 довжиною 16 та 20 мм, гайки);
- роликові підшипники 4 мм (3 шт).

Тримач лазера (рис. 2.6) призначений для закріплення лазерного модуля на плечах. Розміри центральної порожнини циліндричної форми відповідають діаметру обраного лазерного модуля, який закріплюється за допомогою гвинта та гайки. Протилежна сторона деталі має циліндричну форму і призначена для встановлення у отвір плеча. Оскільки в даній системі застосовується 4 лазери, відповідно, в конструкції використовується 4 тримача.



Рисунок 2.6 – Тримач лазерного модуля

Праве та ліве плечі (рис. 2.7) мають по 2 отвори для встановлення лазерних модулів. На одному з торців вони містять виступи з отворами для їхнього кріплення до тримача камери.



а

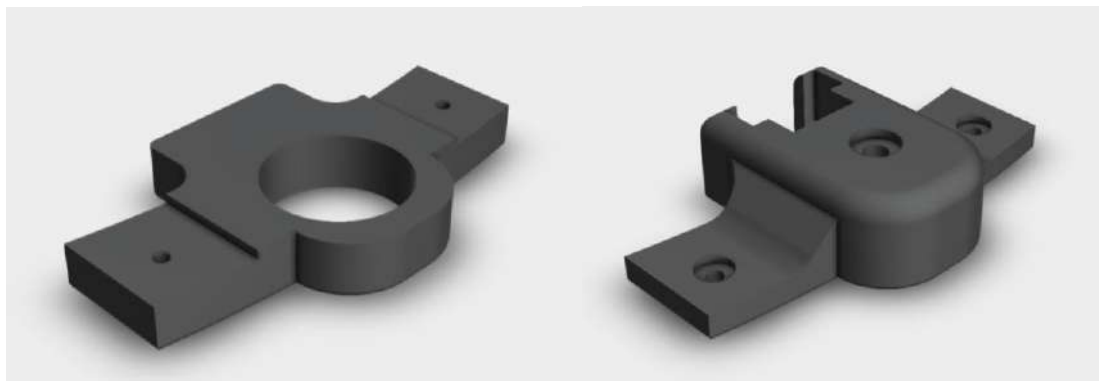
б

Рисунок 2.7 – Плечі для встановлення лазерних модулів:

а – ліве плече;

б – праве плече

Тримач камери складається із двох частин, верхньої та нижньої (рис. 2.8). Розміри отвору відповідають обраній моделі камери, описаній в п. 2.3.4.



а

б

Рисунок 2.8 – Тримач камери:

а – нижня частина;

б – верхня частина

Камера та лазерні модулі направлені в бік поворотного столу, на якому буде розміщуватись об'єкт сканування.

Тримач камери закріплюється на металевому профілі каркасу 20x20 довжиною 140 мм, інша сторона якого вставлена у кутик (рис. 2.9). У кутику наявні отвори для кріплення цього профіля, а також профіля довжиною 250 мм, який з'єднує цю частину конструкції системи сканування з поворотним столом. Друга сторона профіля з'єднується різьбовим з'єднанням із оправою крокового двигуна.



Рисунок 2.9 – Кутик

Оправа крокового двигуна (рис. 2.10) містить отвори для двигуна, елементів кріплення, встановлення плечей та профілів (2 шт довжиною 140 мм і 1 шт довжиною 250 мм). Профілі і відповідно отвори під них виконані так, щоб кут між профілями складав 120° . На кожному із профілів встановлено основу для роликового підшипника (рис. 2.11). Ці деталі мають виступи знизу, які слугують у якості ніжок і спрощують вирівнювання зібраної системи сканування на нерівних поверхнях.

Над кроковим двигуном знаходиться тримач поворотного столу (рис. 2.12).

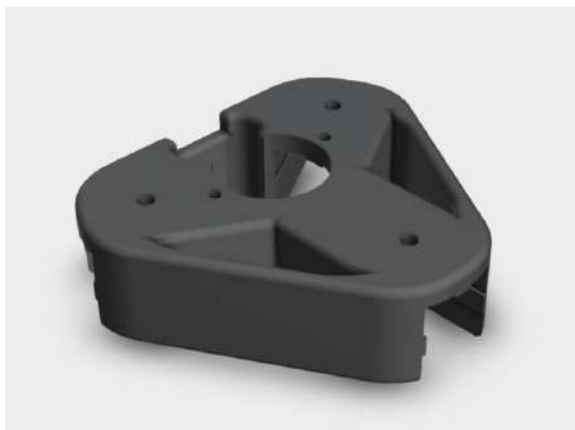


Рисунок 2.10 – Оправа крокового двигуна



Рисунок 2.11 – Основа для роликового підшипника



Рисунок 2.12 – Тримач поворотного столу

На найдовшому профілі перед поворотним столом знаходиться бокс ыз кришкою (рис. 2.13) і затискач для плати Arduino (рис. 2.14).

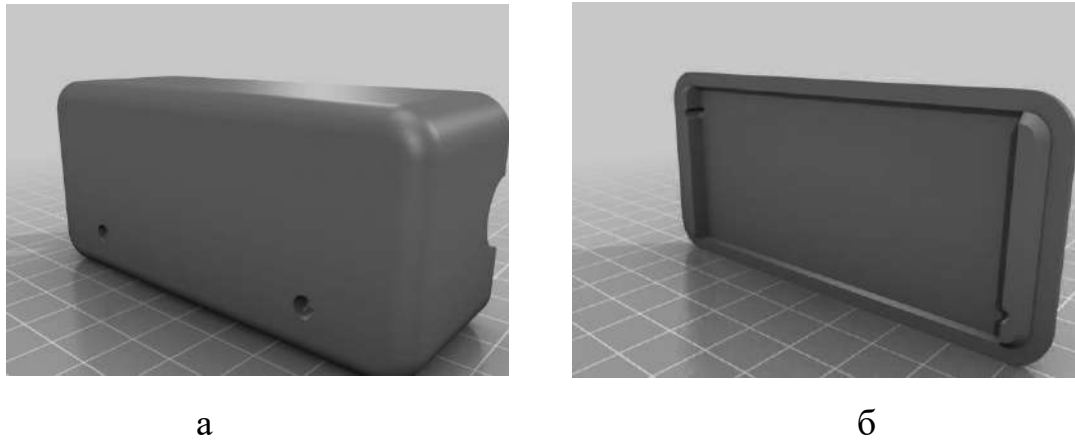


Рисунок 2.13 – Кріплення плати Arduino:

а – бокс для встановлення плати;

б – кришка

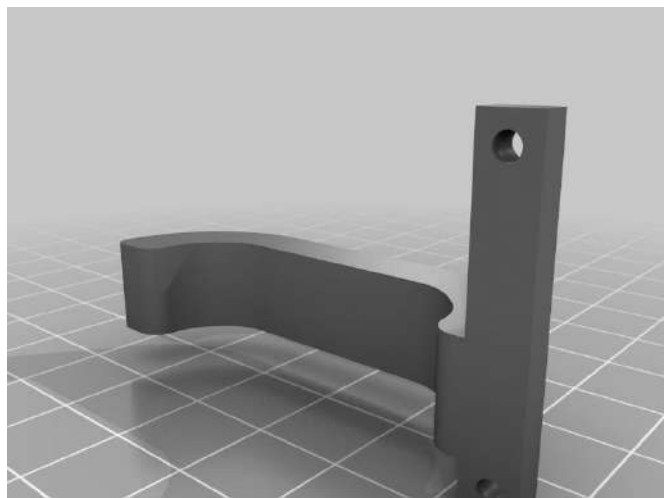


Рисунок 2.14 – Затискач для плати

2.4 Розробка структурної схеми системи робота

На рисунку 2.15 представлено структурну схему системи лазерного сканування. Система складається з:

- блоку лазерних модулів;

- плати Arduino Nano V3.0;
- плати керування кроковим двигуном;
- крокового двигуна.

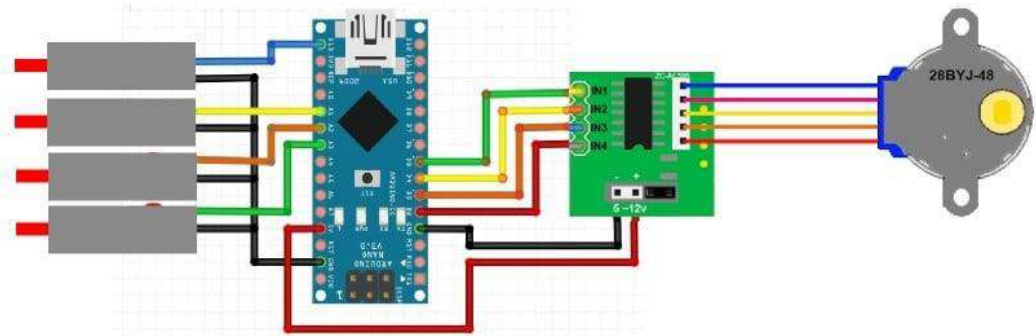


Рисунок 2.15 – Структурна схема основної частини системи лазерного сканування поверхні

Блок лазерних модулів включає в себе один чи кілька лазерних модулів, які генерують лазерне світло для візуалізації або вимірювання поверхні об'єкта. Ці модулі можуть бути налаштовані для проектування точок або ліній на поверхні для сканування. В розробленій системі запропоновано використання 4 лазерних модулів.

Плата Arduino з мікроконтролером Nano V3.0: є мікроконтролерною платою, яка відповідає за збір та обробку даних від лазерних модулів. Вона виконує функції управління та координації роботи всієї системи сканування.

Плата керування кроковим двигуном призначена для керування рухом крокового двигуна, який відповідає за рух платформи чи системи сканування. Вона передає сигнали для точного переміщення крокового двигуна згідно програмних інструкцій.

Кроковий двигун – це рухомий елемент, який здійснює точні переміщення вказаними кроками. Використовується для руху скануючого пристрою по поверхні об'єкта, забезпечуючи точне позиціонування для сканування та збору даних.

Ця структурна схема дозволяє забезпечити координацію роботи лазерних модулів, мікроконтролера Arduino, плати керування кроковим двигуном та самого крокового двигуна для здійснення процесу сканування поверхні об'єкта з високою точністю.

2.5 Рекомендації щодо складання апаратної частини системи лазерного сканування

У цій конструкції використовуються металеві профілі 20x20, проте поворотний стіл можна бути закріплений на листовому металі або на пластмасовій основі.

У випадку застосування іншої камери необхідна адаптація моделі тримача камери відповідно до специфікацій нового обладнання.

Наявність підшипника відмічається як необов'язкова, за винятком випадків, коли планується сканування важких предметів або поверхня, на якій встановлюватиметься система сканування, не є рівною.

Конструкція проста в монтажі. Важливим є правильне розташування двигуна у центрі, орієнтації трьох профілів навколо нього та їхнього кріплення. Процес вимагає виконання послідовних дій, таких як встановлення крокового двигуна в оправі, закріплення його, розстановка плечей та їх закріплення.

Кожен гвинт має відповідний отвір, що забезпечує правильне їх закріплення, що мінімізує можливість помилок при складанні.

При проведенні електричних з'єднань, слід дотримуватися інструкцій, поданих на схемі (рис. 2.15).

Фотографія розробленої системи лазерного сканування наведена на рис. 2.16.

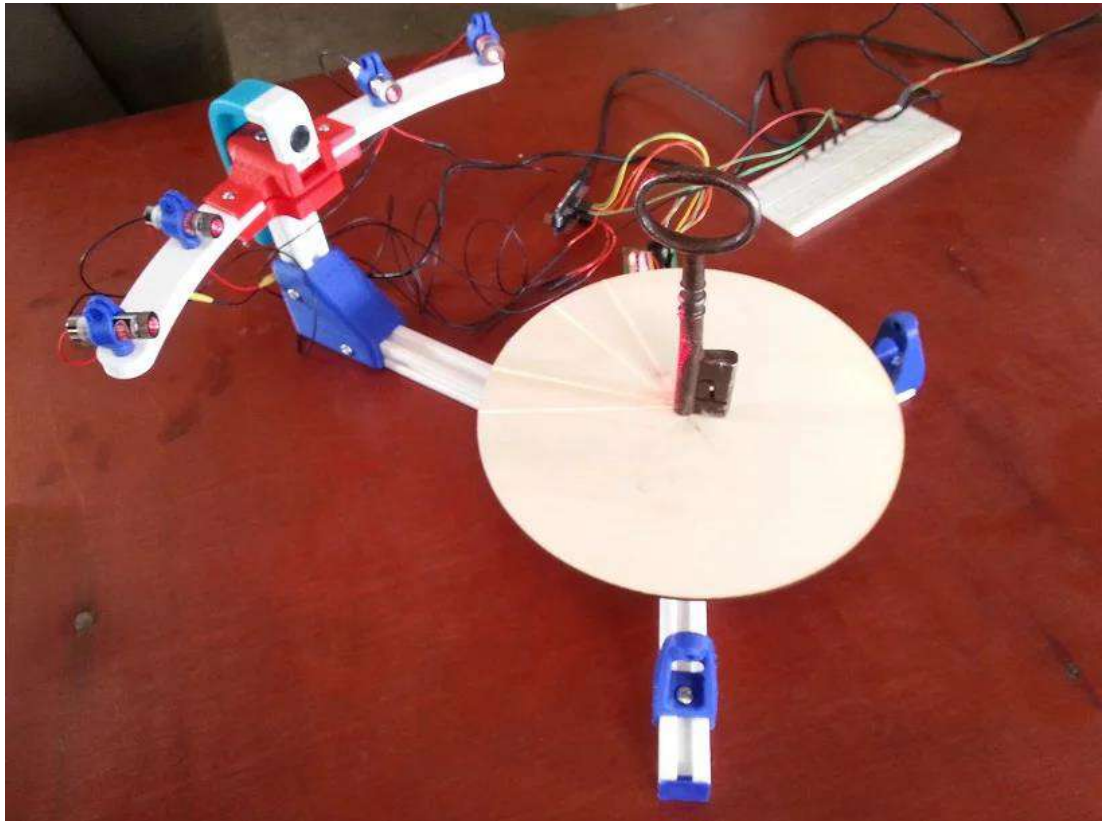


Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд розробленої та виготовленої системи лазерного сканування поверхні для використання у побутових умовах

2.6 Функціонування системи лазерного сканування поверхні

Принцип функціонування розроблюваної системи лазерного сканування можна описати наступним чином.

У процесі сканування об'єкта відбувається послідовне застосування лазерів для створення зображень. Перший етап полягає в отриманні зображення об'єкта без застосування лазерного освітлення. Далі активується лазер, що випромінює світло на об'єкт, після чого здійснюється другий знімок. Шляхом обчислення відмінностей між цими двома зображеннями виокремлюється лазерний слід, або профіль об'єкта.

Враховуючи положення камери та лазера, можливо отримати тривимірні координати кожної точки профілю, тим самим формуючи тривимірне візуальне представлення об'єкта. Цей процес повторюється для всіх лазерних випромінювачів при повертанні столу. Після завершення

повного оберту отримується повна хмара точок, яка репрезентує просторову модель об'єкта. На рисунку 2.17 представлено загальний алгоритм функціонування розробленої системи лазерного сканування поверхні.

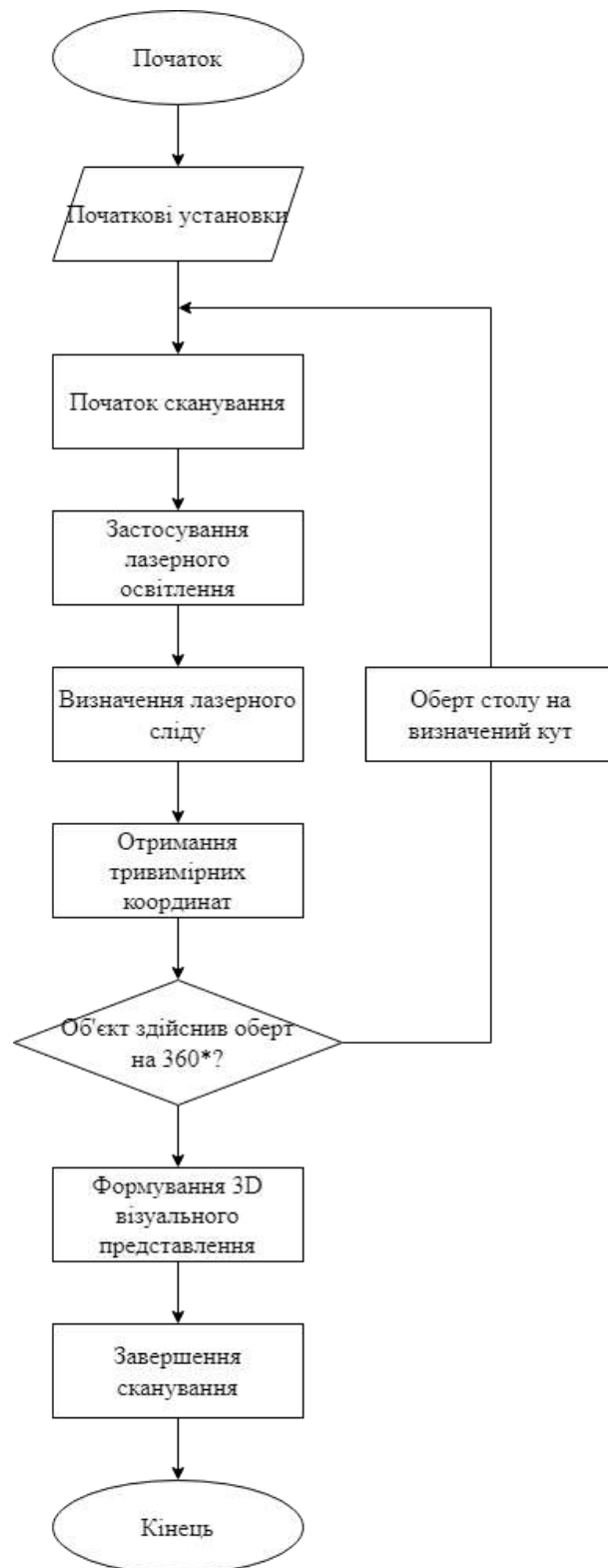


Рисунок 2.17 – Блок-схема алгоритму роботи системи лазерного сканування поверхні

Алгоритм роботи системи лазерного сканування можна описати наступним чином.

На етапі початкових установок відбувається:

- визначення положення камери і лазера в системі координат;
- завдання параметрів лазерного випромінювання (напрямок, інтенсивність, тощо);
- налаштування камери для отримання високоякісних зображень.

Для початку сканування відбувається активація камери для отримання першого зображення об'єкта без лазерного освітлення.

Під час застосування лазерного освітлення здійснюється:

- активація лазера та випромінювання світла на об'єкт;
- отримання другого зображення об'єкта з врахуванням лазерного освітлення.

Для визначення лазерного сліду виконується обчислення відмінностей між першим і другим зображеннями для виділення лазерного сліду або профілю об'єкта.

З метою отримання тривимірних координат відбувається врахування положення камери та лазера для визначення тривимірних координат кожної точки профілю.

Формування тривимірного візуального представлення реалізується після повторення процесу для всіх лазерних випромінювачів при оберті поворотного столу шляхом об'єднання отриманих тривимірних координат для створення повної хмари точок, що репрезентує просторову модель об'єкта.

Сканування завершується зупинкою роботи сканера після завершення повного обертута збереженням отриманої хмари точок або іншого тривимірного представлення об'єкта.

Цей алгоритм дозволяє системі лазерного сканування ефективно отримувати тривимірні моделі об'єктів на основі лазерного випромінювання та обробки отриманих зображень.

2.7 Рекомендації щодо техніки безпеки

Оскільки запропонована система лазерного сканування призначена для використання у побутових умовах, було запропоновано наступні рекомендації для користувачів.

2.7.1 Захист від лазерного променя

Уникайте прямого контакту з лазерним променем, оскільки він може бути шкідливим для очей та шкіри. Мінімізуйте відбиття променя від різних поверхонь. Використовуйте захисні окуляри з лазерозахисним покриттям для запобігання можливих ушкоджень очей.

2.7.2 Безпечне розташування обладнання

Розташуйте систему лазерного сканування у місці, де вона не буде створювати небезпеку для випадкового проходження, в тому числі дітей або тварин. Використовуйте стійку фіксацію, щоб уникнути падіння або перекидання обладнання.

2.7.3 Контроль доступу

Забезпечте обмежений доступ до місця розташування системи лазерного сканування. Впевніться, що тільки особи, які розуміють принципи безпеки, мають доступ до пристрою.

2.7.4 Заходи безпеки щодо електроживлення

При використанні будь-яких електронних компонентів чи плат, як от Arduino, слід дотримуватися правил безпеки при роботі з електрикою.

2.7.5 Правильна експлуатація та обслуговування

Дотримуйтесь інструкцій щодо правильної експлуатації та обслуговування системи. Регулярно перевіряйте стан лазерних модулів та

компонентів, виконуйте профілактичні заходи та технічне обслуговування відповідно до вимог.

2.7.6 Зберігання та обробка даних

Зберігайте дані та інші матеріали, отримані під час сканування, у безпечному місці, що відповідає вимогам конфіденційності та захисту персональної інформації.

2.7.7 Навчання та навички користування

Перед першим використанням здійсніть підготовку осіб, які виконуватимуть сканування, щодо правильного та безпечного використання системи лазерного сканування, включаючи процедури у разі виникнення непередбачуваних ситуацій.

Забезпечення техніки безпеки під час використання системи лазерного сканування вимагає уважності, дотримання професійних стандартів та впровадження відповідних заходів безпеки.

3 РОЗРОБКА, ВСТАНОВЛЕННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ

У третьому розділі описується процес прошивки плати, встановлення програмного забезпечення для сканування, виконання операцій для калібрування системи, а також написання плагінів для удосконалення роботи системи.

3.1 Прошивка плати

Після завершення складальних операцій апаратної частини системи лазерного сканування для перевірки роботи необхідно виконати прошивання системи, що передбачає завантаження програми на платформу Arduino. Для цього необхідно скористатися Arduino IDE або альтернативним редактором ескізів.

Програмне забезпечення (ескіз Arduino) було взято за посиланням [18].

Також важливо встановити бібліотеку AccelStepper для успішної компіляції, доступну за посиланням [19].

Для коректного налаштування системи необхідно виконати наступні кроки:

- відредагувати файл `configuration.h` відповідно до параметрів електричної схеми;
- завантажити скомпільовану програму на платформу Arduino.

Завершивши апаратну настройку, необхідно виконати тестування системи:

- підключитися до Arduino за допомогою інтегрованого середовища розробки (IDE);
- ввести команду "Sardauscan", якщо прошивка виконана коректно, з'явиться відповідь YES від Arduino;

- перевірити роботу крокового двигуна, для чого ввести команду "TR 100", щоб ініціювати обертання столу на 100 кроків;
- перевірити лазер: введіть "L 0 1" щоб перший (0) лазер активізувати (1), після чого він повинен засвітитися.

У випадку невідповідності очікуваних результатів, рекомендується перевірити проводку та файл configuration.h, забезпечивши їх взаємодію.

3.2 Встановлення програмного забезпечення та виконання калібрування

Після установки вказаного вище програмного забезпечення та його запуску у головному інтерфейсі можна буде побачити 3 червоні іконки:

- для поворотного столу;
- для блоку лазерних модулів);
- для камери (рис. 3.1).

Щоб підключитися до апаратного забезпечення, необхідно натиснути на іконки. Якщо клацнути правою кнопкою миші, можна від'єднатися.

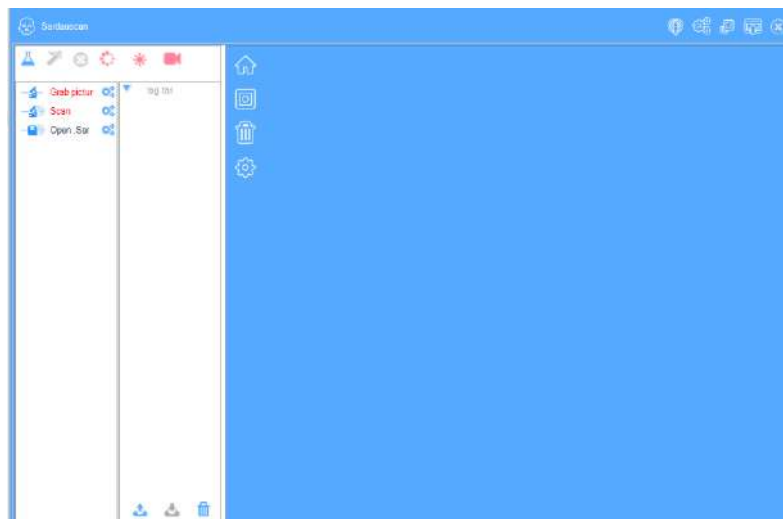


Рисунок 3.1 – Головне вікно програми

Якщо використовується стандартна прошивка Sardauscan, стіл та лазерні перемикачі пов'язані.

Після цього можна переходити до калібрування. Воно складається з калібрування камери, лазерів, їхньої позиції, налаштування зображення, отриманого за допомогою лазерів. Від етапу калібрування безпосередньо залежить якість результату процесу сканування.

3.2.1 Калібрування камери

Щоб відкалібрувати камеру, треба перейти на вкладку камери (рис. 3.2), а потім у розділі «Physical Calibration» клацнути на горизонтальну панель і розташувати її в центрі панелі, щоб камера була відкалібрована для подальшого сканування.



Рисунок 3.2 – Калібрування камери

3.2.2 Калібрування лазерів

Калібрування лазерів є одним із найскладніших завдань за своєю точністю. Потрібно буде виконувати операцію для кожного лазера окремо.

Для того, щоб відкалібрувати систему, необхідно зробити наступне:

- клацнути на відповідну іконку та обрати кнопку Physical calibration;

- перемістити камеру так, щоб вертикаль у вікні попереднього перегляду перетинала точний центр столу;
- клацнути по центру стола у вікні попереднього перегляду, лінії допоможуть вирівняти об'єкт калібрування;
- розмістити калібрувальний об'єкт на столі, плоскою поверхнею до камери;
- клацнути значок першого лазера зверху, щоб засвітити перший лазер, вирівняти лазерну лінію до вертикальної лінії у вікні попереднього перегляду;
- повторити для всіх своїх лазерів.

3.2.3 Калібрування позиції

Щоб відкалібрувати розміри та розташування сканера, тобто положення камери та лазерів, треба перейти у вкладку «Calibrate», потім у «Build Dimension» та ввести координати камери (рис. 3.3).

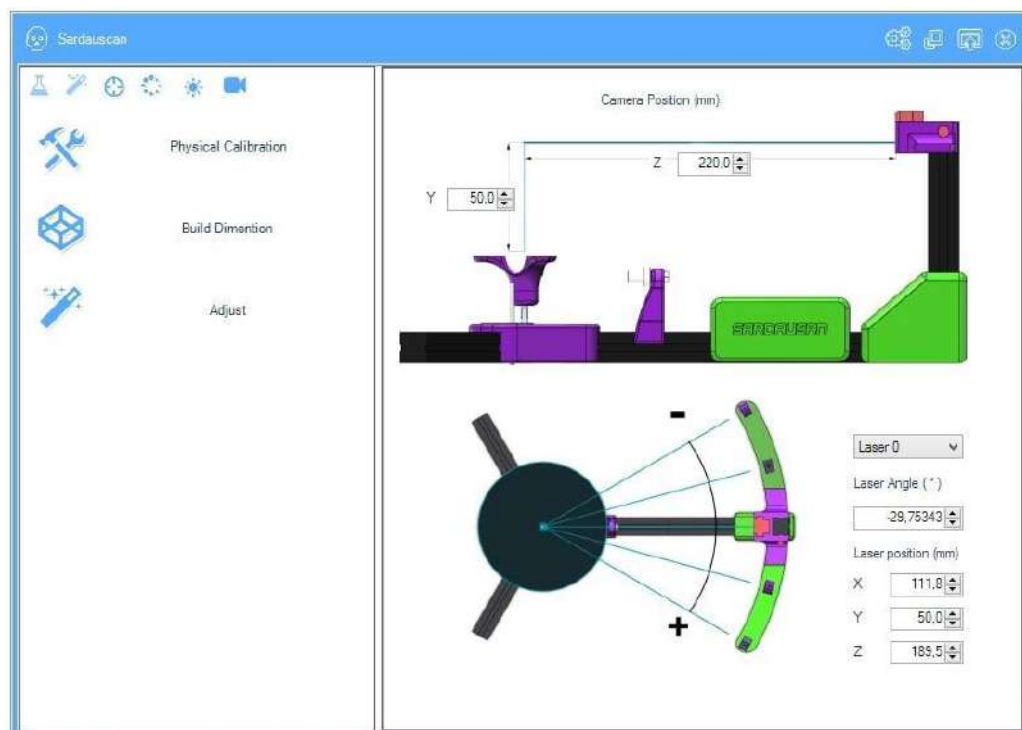


Рисунок 3.3 – Регулювання розташування камери та сканерів

Актуальна інформація відрегулюється самостійно. Треба перевірити всі лазерні кути, які можуть рухатися, регулюючи інші лазери.

3.2.4 Налаштування лазерного зображення

Далі здійснюється коригування зображення, отриманого за допомогою лазерів, щоб усунути можливі шуми, які записує камера. Для цього треба перейти до піктограми «Tune» та встановити параметри так, щоб мати безперервну лінію, і усунути всі ізольовані точки (рис. 3.4).

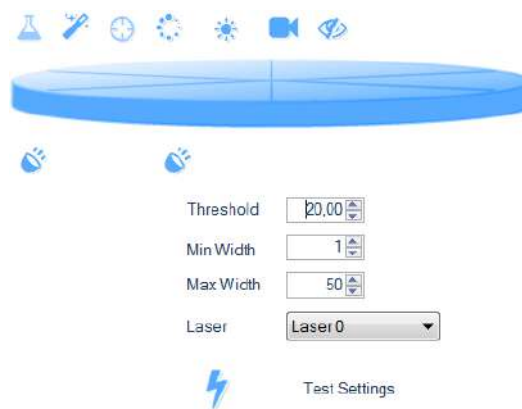


Рисунок 3.4 – Налаштування параметрів лазерного зображення

Налаштування відрізняються для кожного фрагмента сканованого матеріалу (відбиття, матеріал, колір), важливо робити це з саме з тим фрагментом, який планується сканувати.

3.2.5 Корекція матриці

Корекція матриці є останнім і найважливішим кроком калібрування сканера. Об'єкт калібрування повинен мати просту, але неправильну форму (наприклад, циліндр із отворами та виступами). Нами було обрано тверду іграшку у формі андроїда (рис. 3.5).

Тепер перейдіть на вкладку «Calibrate», а потім у «Correction Matrix» (нижня вкладка на рис. 3.2).

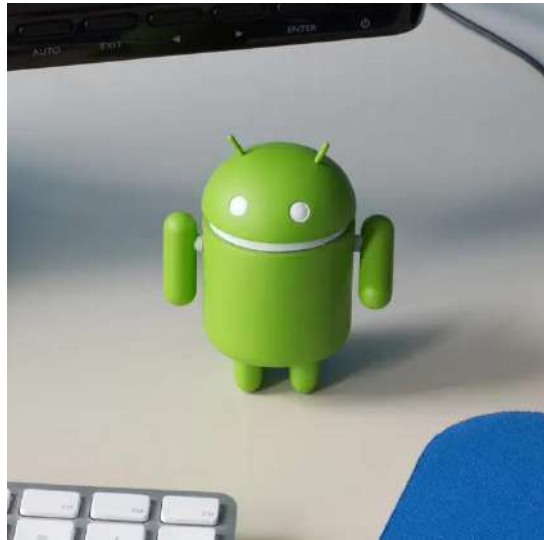


Рисунок 3.5 – Об’єкт для калібрування

Треба помістити об’єкт калібрування в центр, а потім почати швидке сканування. Будуть отримані фігури у своєму вікні (рис. 3.6), ці скани різних кольорів треба вирівняти так, щоб лінії співпали.

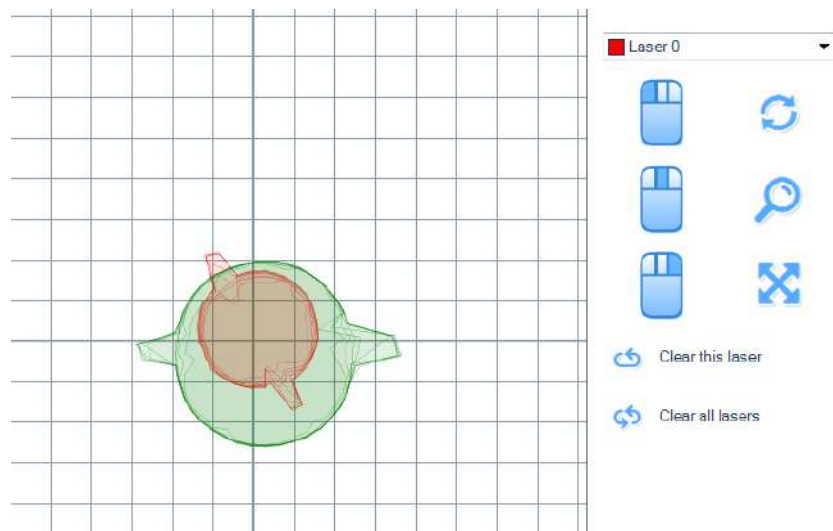


Рисунок 3.6 – Вид зверху об’єкта, відсканованого декількома лазерами

Треба перейти на вкладку «Process» і подивитися, який колір сканування відповідає масштабу сканованого об’єкта.

В нашому випадку зелений колір відповідає реальним розмірам об'єкта, тому було збільшено результати сканування, показані червоною лінією, до розмірів зеленого скану (рис. 3.7).

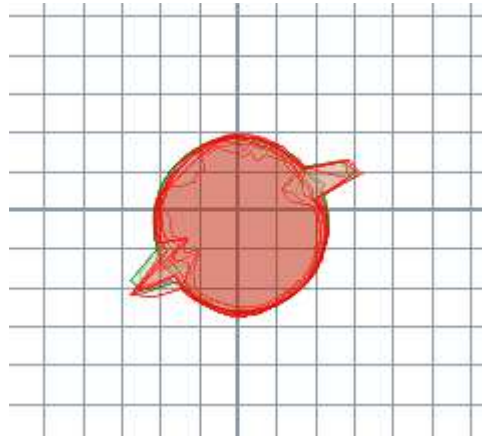


Рисунок 3.7 – Вирівнювання сканів, отриманих від різних лазерів

Перед будь-якими маніпуляціями треба натиснути вкладку «Clear this scan», і робити це для кожного сканування.

Хмара точок, отриманих під час сканування, до і після вирівнювання сканів, показані на рис. 3.8.

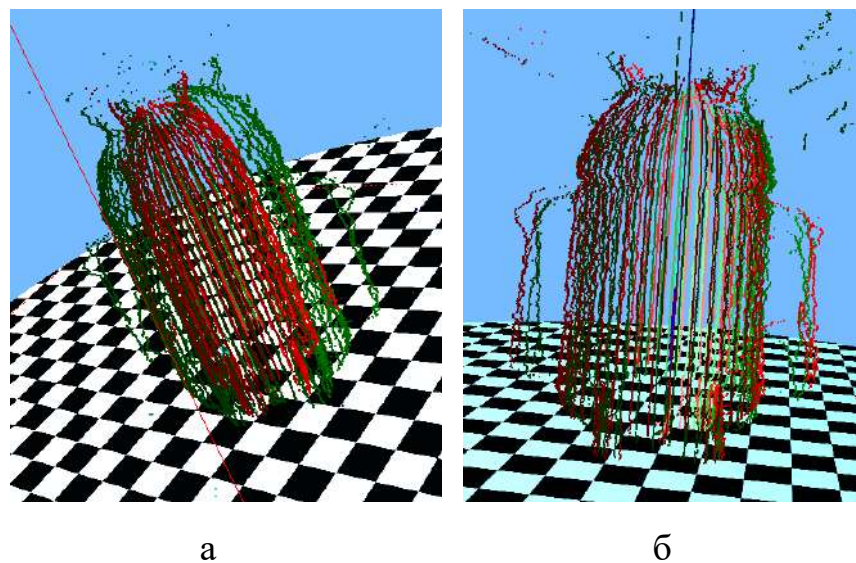


Рисунок 3.8 – Хмара точок, отриманих під час сканування:

а – до вирівнювання сканів;

б – після вирівнювання сканів

Тепер, коли сканування відкаліброване, можна виконати `scanTreatment` для усунення шуму та виконання плавного сканування.

3.3 Сканування та обробка

Оскільки калібрування сканера завершено, можна зробити перші сканування.

Перейдіть на вкладку «Process», а потім перетягніть піктограму сканування у вікні «drag task» (рис. 3.9).

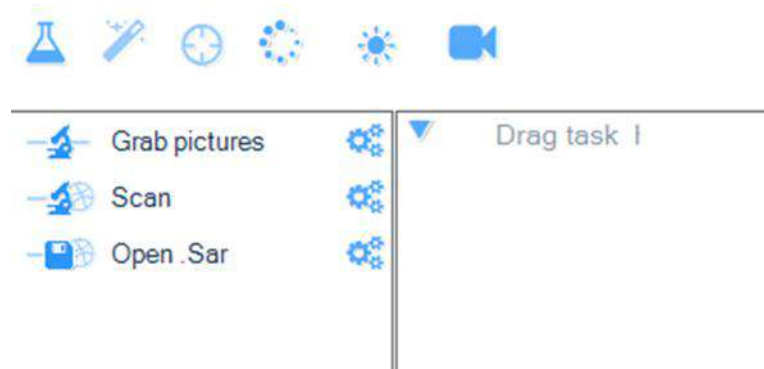


Рисунок 3.9 – Встановлення задачі сканування

Після цього в лівій частині вікна з'явиться список операцій, які можуть виконуватись над отриманим результатом сканування, де кожен значок має певну функцію (рис. 3.10).

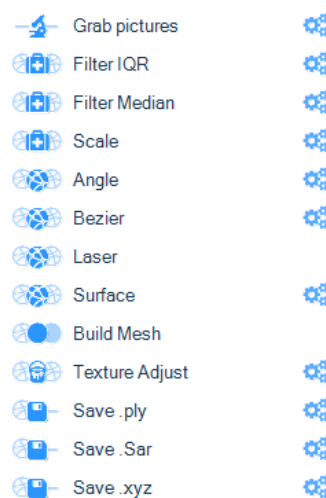


Рисунок 3.10 – Список операцій, які можуть бути виконані над відсканованим об'єктом

За допомогою цих операцій можна виконувати згладжування, вирівнювання по середньому значенню, зміну кута або форми, масштабування, регулювання яскравості, контрастності та кольорової гами, а також інші дії над отриманою моделлю відсканованого об'єкта.

3.4 Розробка плагіна для програмного забезпечення системи лазерного сканування поверхні

Плагін (англ. plugin або plug-in) — це додатковий модуль програмного забезпечення, який дозволяє розширювати функціональність програми без необхідності змінювати її основний код. Плагіни зазвичай розробляються окремо від основної програми і можуть бути легко встановлені або вилучені, збільшуючи або зменшуючи можливості ПЗ.

Основна ідея плагінів полягає в тому, щоб надати користувачам можливість налаштування програми під їхні потреби без необхідності змінювати сам код програми. Це важливо для програм, які розробляються для широкого кола користувачів.

Розробник програмного забезпечення Sardauscan, яке було використано для цієї системи, зазначив, що кожен із користувачів може самостійно розробляти плагіни до цього ПЗ з метою реалізації власних задач.

Для програмного забезпечення системи лазерного сканування поверхні можуть бути корисні різноманітні плагіни, які покращують функціональність та зручність використання системи, наприклад, для таких задач:

а) алгоритми обробки зображень:

1) додаткові алгоритми обробки зображень для поліпшення якості отриманих зображень;

2) методи фільтрації та покращення контрастності для зменшення шуму та підвищення точності сканування.

б) відстеження руху об'єктів – плагін для виявлення та компенсації руху об'єктів під час сканування, щоб уникнути спотворень у тривимірних моделях;

в) калібрування та автокалібрування – плагін для автоматичного калібрування системи, що дозволяє швидше та точніше визначати параметри камери та лазера;

д) оптимізація швидкості сканування;

ж) Експорт та обробка даних – плагіни для експорту отриманих даних у різноманітні формати для подальшої обробки в інших програмах;

к) автоматична обробка та аналіз даних, такі як розпізнавання об'єктів, вимірювання розмірів тощо;

л) інтеграція з CAD-системами: плагіни, що дозволяють імпортувати отримані тривимірні моделі безпосередньо в CAD-системи для детального проектування та моделювання.

Ці плагіни можуть значно полегшити роботу та покращити результати системи лазерного сканування поверхні, роблячи її більш гнучкою та потужною.

Нами було вирішено створити плагін на мові C#, який може служити основою для калібрування системи.

Запропонований плагін наведено у додатку А.

4 ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ПОВЕРХНІ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

В четвертому розділі запропоновані шляхи оптимізації алгоритму роботи системи лазерного сканування, пов'язані із апаратними та програмними рішеннями. Запропоновано оптимізований алгоритм визначення відмінностей між зображеннями та виділення лазерного сліду, який спрямований на покращення ефективності та точності.

4.1 Шляхи оптимізації алгоритму роботи системи лазерного сканування

Був проведений аналіз розробленої системи лазерного сканування поверхні. На нашу думку, існує кілька можливих варіантів оптимізації та покращень для наведеного у п. 2.4 алгоритму системи лазерного сканування.

4.1.1 Підвищення швидкості сканування

Для реалізації цього підходу можливі такі шляхи:

- використання швидших камер та лазерів для зменшення часу отримання зображень;
- реалізація паралельного опрацювання даних для прискорення обчислень.

4.1.2 Зменшення шуму та підвищення точності

Для цього можна застосувати:

- використання алгоритмів фільтрації для зменшення шуму на отриманих зображеннях;
- калібрування системи для покращення точності визначення координат.

4.1.3 Адаптивне керування інтенсивністю лазера

Цей спосіб оптимізації може бути реалізований як програмним чином, так і застосуванням інших конструктивних рішень. Наприклад, можна реалізувати системи, яка адаптивно регулює інтенсивність лазера в залежності від властивостей поверхні об'єкта (кольору або оптичних властивостей).

4.1.4 Використання оптимізованих алгоритмів визначення відмінностей між зображеннями та виділення лазерного сліду

З цією метою можливе використання ефективних алгоритмів обробки зображень для визначення відмінностей між зображеннями та виділення лазерного сліду.

4.1.5 Покращення роботи з рухомими об'єктами

Додавання механізму для компенсації руху об'єкта під час сканування, щоб уникнути спотворень у тривимірних моделях є складною задачею, вирішення якої може бути корисним у ряді прикладних задач.

4.1.6 Оптимізація зберігання та представлення даних

Цей шлях пов'язаний із зменшенням часових витрат і зниженням вимог до комп'ютера або ноутбука, він може бути реалізований через:

- застосування стиснення даних для зменшення обсягу інформації, що зберігається;
- використання ефективних структур даних для представлення тривимірних об'єктів.

4.1.7 Автоматизація процесу калібрування

Автоматизація можлива завдяки розробці автоматизованих засобів калібрування системи для забезпечення постійної точності та надійності вимірювань.

Ці шляхи оптимізації допоможуть покращити ефективність, точність та швидкість системи лазерного сканування. Реалізація конкретних варіантів оптимізації буде залежати від конкретних вимог та обмежень застосування розробленої системи лазерного сканування поверхні.

4.2 Оптимізований алгоритм визначення відмінностей між зображеннями під час сканування

Серед раніше описаних шляхів оптимізації нами було обрано п. 4.1.4. Оптимізований алгоритм визначення відмінностей між зображеннями та виділення лазерного сліду при лазерному скануванні може включати в себе етапи, представлені на рис. 4.1.

На етапі передобробки зображень здійснюється застосування фільтрів для зменшення шуму та підвищення контрастності. У випадку неоднорідності зображень можлива корекція освітлення або колірної балансу для однорідності зображень.

Для створення диференційного зображення виконується обчислення абсолютної різниці між пікселями першого та другого зображення. Можливе використання додаткових методів (наприклад, медіанний фільтр) для зменшення впливу шуму.

Для виділення областей, де відмінності є суттєвими, використовується порогова бінаризація. Після цього здійснюється виокремлення лазерного сліду. Також на цьому етапі для видалення непотрібних дрібних деталей можна застосовувати морфологічних операцій (розширення, зменшення).

Наступним етапом є опрацювання лазерного сліду. Для цього виконуються використання алгоритмів об'єднання областей для знаходження контуру лазерного сліду та розрахунок центру мас для точного визначення положення лазерного сліду.

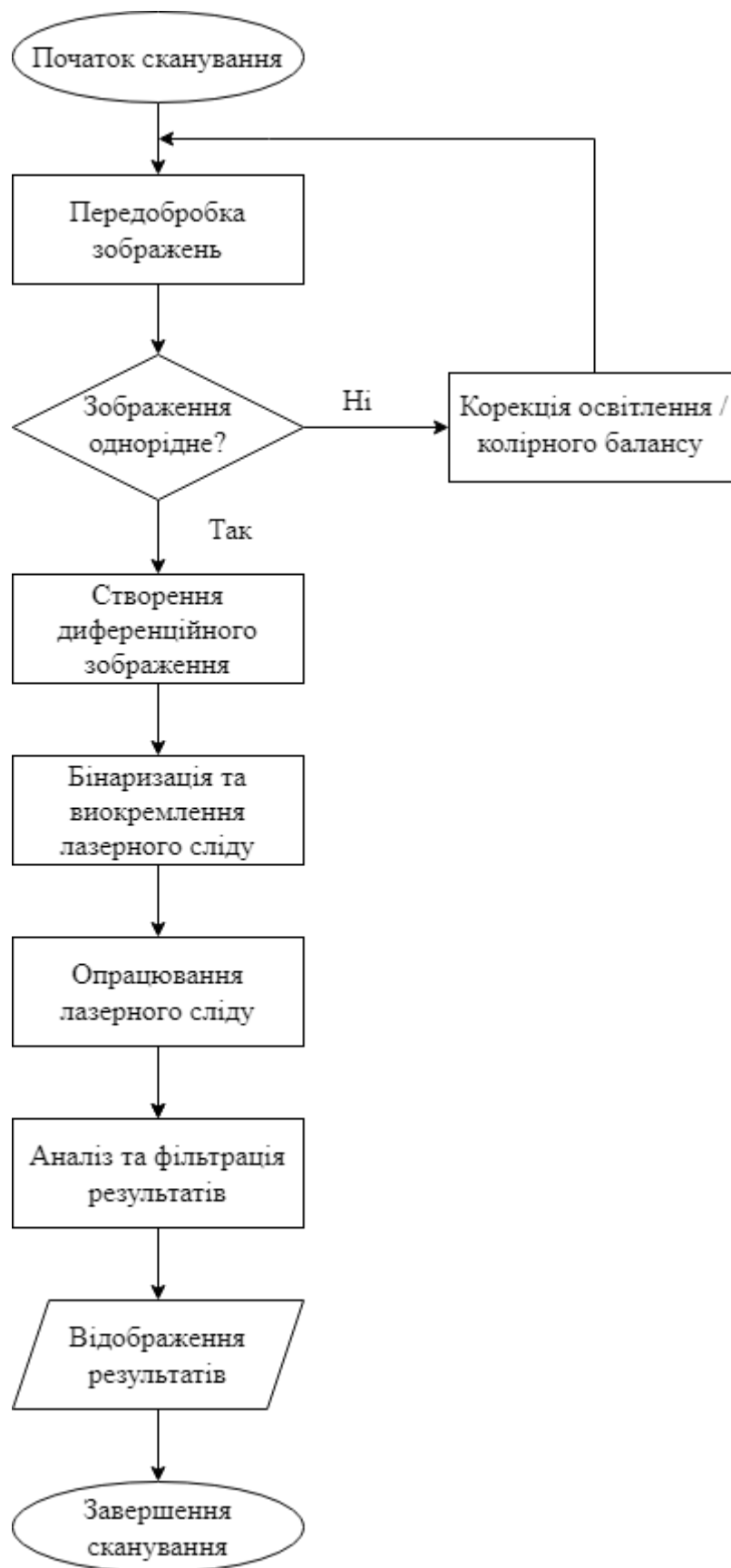


Рисунок 4.1 – Блок-схема оптимізованого алгоритму визначення відмінностей між зображеннями та виділення лазерного сліду при лазерному скануванні

На етапі аналізу та фільтрація результатів відбувається відсіювання непотрібних областей або шумів за допомогою порогових значень по площі областей, які виділені.

Після цього отримані результати можуть бути показані як відображення лазерного сліду на вихідному зображенні для візуалізації результатів сканування.

Додатково можна реалізувати автоматичне визначення порогу для бінаризації, що дозволяє адаптивно пристосовуватися до змін у світлових умовах.

Також варіантом оптимізації є розгляд можливості використання глибинного навчання для автоматичного виявлення та виділення лазерного сліду, що може дати додаткову точність та робити алгоритм менш чутливим до змін у світлових умовах та шуму.

Ці оптимізації спрямовані на покращення ефективності та точності алгоритму визначення відмінностей та виділення лазерного сліду під час лазерного сканування поверхні. Реалізація конкретних покращень буде залежати від конкретних вимог та можливостей.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі магістра було розроблено систему лазерного сканування поверхні.

Мета даної роботи полягає у створенні комплексу для лазерного сканування об'єктів, придатного для використання у побутових умовах. Перший розділ включає опис процесу лазерного сканування поверхонь, розгляд основних методів формування 3Д-моделей об'єктів та їх порівняння. Також подається загальна структура систем лазерного сканування та описуються області їхнього використання. Аналізується загальний підхід до розробки таких систем та ставиться задача дипломної роботи магістра.

У другому розділі деталізується процес проектування системи лазерного сканування поверхонь. Визначаються ключові вимоги до системи, які є основою концепції та визначають напрямки розробки. Розглядається вибір комплектуючих для апаратної частини системи, наводяться моделі розроблених деталей. Подається структурна схема системи та описується функціонування розробленої системи сканування поверхонь для використання у побутових умовах. Також надаються рекомендації з техніки безпеки при використанні системи.

У третьому розділі описується процес прошивки плати, встановлення програмного забезпечення для сканування, виконання операцій для калібрування системи та написання плагінів для удосконалення роботи системи.

Четвертий розділ пропонує шляхи оптимізації алгоритму роботи системи лазерного сканування, зокрема, шляхом апаратних та програмних рішень. Запропонований оптимізований алгоритм визначення відмінностей між зображеннями та виділення лазерного сліду, який націлений на підвищення ефективності та точності.

Наукова новизна дипломної роботи магістра полягає у розробці алгоритму визначення відмінностей між зображеннями під час сканування, що дозволяє підвищувати точність лазерного сканування об'єктів.

Практична цінність полягає в тому, що було розроблено систему лазерного сканування, що є достатньо простою, ефективною, має низьку вартість і може використовуватись для сканування у побутових умовах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Laser scanning is the modern way of 3D surveying [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.laserscanning-europe.com/en/laser-scanning>
2. P. Grussenmeyer, T. Landes, T. Voegtle, and K. Ringle, 2008. Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings. In: Chen, Jun., Jiang, Jie., and Maas, Hans-Gerd. (eds.) Proceedings of the ISPRS Commission V. 213-218. Beijing, China: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
3. M. McMillion, P. Hanaphy. Photogrammetry vs 3D scanning for creating a 3D model [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.artec3d.com/learning-center/photogrammetry-vs-3d-scanning>
4. James Miles Laser Scanning. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119188230.saseas0342>
5. Active systems: short range [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://carare.gitbook.io/share-3d-guidelines/3d-process/data-capture/short-range-techniques>
6. Wired(Corded) LASER TRIANGULATION SENSOR OPTIMESS-SC BY ELAG [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.indiamart.com/proddetail/laser-triangulation-sensor-optimess-sc-by-elag-27046136412.html>
7. Frey, J., 2019. Evaluating close range remote sensing techniques for the retention of biodiversity-related forest structures. In, Chair of Remote Sensing and Landscape Information Systems Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, p. 103.
8. Time-of-Flight Forges Ahead [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.qualitymag.com/articles/95956-time-of-flight-forges-ahead>

9. FARO laser scanner [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.laserscanning-europe.com/en/hardware/terrestrial-laser-scanners/faro/faro-laser-scanner>
10. Understanding Laser Scanners [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/understanding-laser-scanners>
11. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навч. Посібник. – Львів: Світ, 2001. – 232с.
12. Nano V3.0 ATmega328 16M 5V Micro-controller CH340G board [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinotech.dk/shop/nano-v3-0-atmega328-16m-5v-micro-controller-ch340g-board/>
13. Stepper Motor 28BYJ-48 with ULN2003 Driver Board [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cricklewoodelectronics.com/Stepper-Motor-28BYJ-48-with-ULN2003-Driver-Board.html>
14. 5mw 650nm Red Dot Laser Module Focus Adjustable Laser Head 5V Industrial Grade [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.phippselectronics.com/product/5mw-650nm-red-dot-laser-module-focus-adjustable-laser-head-5v-industrial-grade/>
15. Hercules 4780733 HD Twist USB 2.0 Green Mini Webcam [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.newegg.com/hercules-4780733-hd-twist/p/N82E16826606022>
16. Кабель зарядний Ugreen Mini USB — USB 2.0 2 м Black (US132)
Детальніше: <https://ugreen.mk.ua/ua/p1577849108-kabel-zaryadnyj-ugreen.html> [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ugreen.mk.ua/ua/p1577849108-kabel-zaryadnyj-ugreen.html>
17. Top 10: The Best Free CAD Software for 3D Printing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://all3dp.com/2/best-free-cad-software-for-3d-printing/>

18. Sardauscan [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://github.com/Sardau/Sardauscan>

19. AccelStepper [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://github.com/adafruit/AccelStepper>

Додаток А

Плагін для автоматичного калібрування системи лазерного сканування поверхні

```

using System;

namespace LaserScannerCalibrationPlugin
{
    public class CalibrationPlugin
    {
        private double cameraPositionX;
        private double cameraPositionY;
        private double laserPositionX;
        private double laserPositionY;

        public void SetCameraPosition(double x, double y)
        {
            cameraPositionX = x;
            cameraPositionY = y;
        }

        public void SetLaserPosition(double x, double y)
        {
            laserPositionX = x;
            laserPositionY = y;
        }

        public void Calibrate()
        {
            // Логіка калібрування, включаючи розрахунок корекцій для положення
камери та лазера.
            // В даному прикладі просто виводимо координати після калібрування.

            double calibratedCameraX = cameraPositionX + 0.1; // Приклад корекції для
камери
            double calibratedCameraY = cameraPositionY - 0.05;

            double calibratedLaserX = laserPositionX - 0.2; // Приклад корекції для лазера
            double calibratedLaserY = laserPositionY + 0.1;

            Console.WriteLine("Калібрування завершено.");
            Console.WriteLine($"Корегована позиція камери: X={calibratedCameraX},
Y={calibratedCameraY}");
            Console.WriteLine($"Корегована позиція лазера: X={calibratedLaserX},
Y={calibratedLaserY}");
        }
    }

    class Program

```

```
{
    static void Main()
    {
        // Приклад використання плагіна для калібрування
        CalibrationPlugin calibrationPlugin = new CalibrationPlugin();

        // Симуляція введення координат камери та лазера
        calibrationPlugin.SetCameraPosition(10.0, 5.0);
        calibrationPlugin.SetLaserPosition(8.0, 7.0);

        // Виклик функції калібрування
        calibrationPlugin.Calibrate();

        Console.ReadLine();
    }
}
```

Додаток Б

Презентація до дипломної роботи магістра

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



Презентація до дипломної роботи магістра
на тему:
«РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО
СКАНУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ»

Виконав студент групи БК-512м

Денис СТОМАТОВ

Керівник: к.т.н., доцент

Наталія ФУРМАНОВА





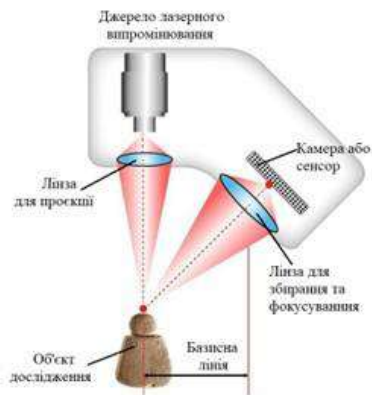
Об'єкт та мета роботи

Об'єкт розробки – система лазерного сканування поверхні.

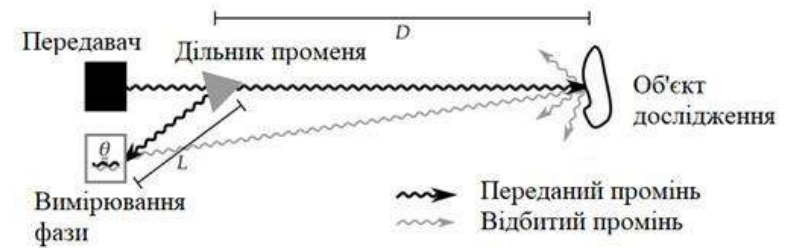
Мета роботи – створення програмно-апаратного комплексу лазерного сканування об'єктів, що може використовуватись у побутових умовах.



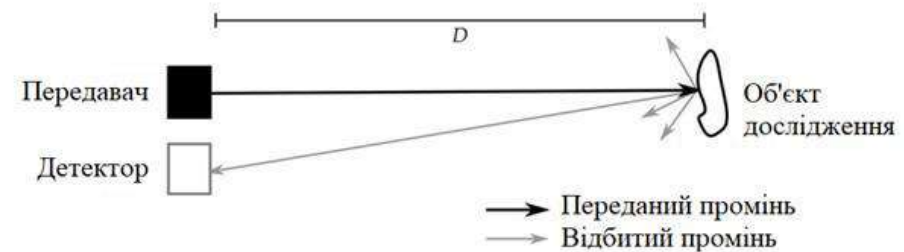
Основні методи лазерного сканування поверхонь



Лазерне сканування методом триангуляції



Лазерне сканування за часом польоту



Фазове лазерне сканування

Порівняння методів лазерного сканування поверхні



Метод	Переваги	Недоліки
Метод триангуляції	Ефективний для сканування малих об'єктів, висока точність зі збереженням деталей, швидке сканування	Вразливість до помилок при реєстрації кутів, складність при скануванні ребер та переходів між поверхнями.
Сканування за часом польоту	Широкий діапазон застосування, висока швидкість сканування для великих відстаней, можливість роботи в різних умовах освітлення.	Довгий час сканування для вищої роздільної здатності, складність у вимірюванні точних довжин великих відстаней
Фазове лазерне сканування	Висока точність, здатність працювати у великих діапазонах відстаней, ефективність при роботі з рухомими об'єктами.	Складність у роботі з відблисками та скляними поверхнями, висока вартість обладнання.

Постановка задачі дипломної роботи магістра



Для досягнення мети було визначено такі завдання:

- провести аналіз вимог до розроблюваної системи лазерного сканування поверхні;
- розробити загальну структуру системи;
- здійснити вибір комплектуючих для апаратної частини та обґрунтувати його;
- розробити моделі оригінальних деталей;
- запропонувати схему електричних з'єднань системи;
- виконати складання та надати рекомендації щодо виконання складальних операцій при збірці розробленої системи;
- описати функціонування розробленої системи сканування;
- розробити рекомендації щодо техніки безпеки при побутовому використанні;
- обрати програмне забезпечення та розробити плагін для його удосконалення;
- запропонувати шляхи оптимізації системи лазерного сканування.



Вимоги до системи лазерного сканування



- апаратна частина системи лазерного сканування поверхонь повинна мати просту, компактну та портативну конструкцію;
- собівартість конструкції має бути мінімальною;
- точність сканування та якість отриманих моделей повинні бути задовільними;
- система повинна пропонувати прийнятну швидкість сканування без втрати точності, забезпечуючи швидке отримання результатів для забезпечення зручності користувачів;
- система повинна мати простий та інтуїтивний інтерфейс, доступний для користувачів різного рівня технічної підготовки; користувачі повинні легко розуміти, як включати, налаштовувати та використовувати систему для сканування поверхонь;
- система повинна мати можливість внесення змін з метою розширення функціональності, що має відобразитись як в апаратній, так і в програмній частині;
- покращення якості отриманої моделі (згладжування, вирівнювання тощо) будуть виконуватись за допомогою програмного забезпечення.
- важливою є безпека використання системи, що включає в себе низький ризик для очей та шкіри під час роботи з лазерними джерелами;
- опціонально – можливість підключення та використання системи з різними побутовими пристроями та платформами, наприклад, смартфонами, комп'ютерами чи планшетами.





Вибір комплектуючих



Плата мікроконтролера
Nano V3.0 ATmega328
16M 5V CH340G



Кроковий двигун 28BYJ-
48 з мікросхемою
ULN2003 і платою
драйвера

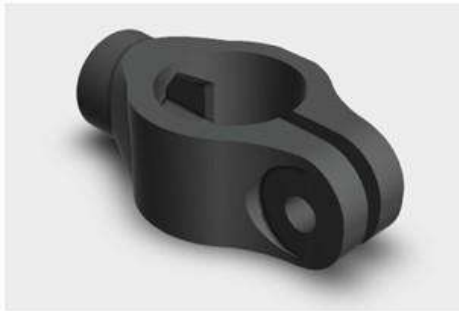


Лазерний модуль червоної
лінії 5 мВт 650 нм, з
лазерною голівкою з
регульованим фокусом, 5 В



Міні веб-камера
Hercules 4780733
HD Twist USB 2.0
Green

Розробка оригінальних деталей конструкції для блоку сканування



Тримач лазерного модуля



Плечі для встановлення лазерних модулів



Тримач камери

Розробка оригінальних деталей конструкції для поворотного столу



Оправа крокового двигуна



Тримач поворотного столу

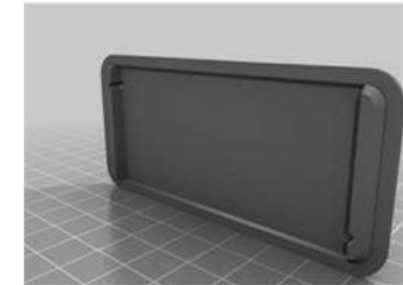
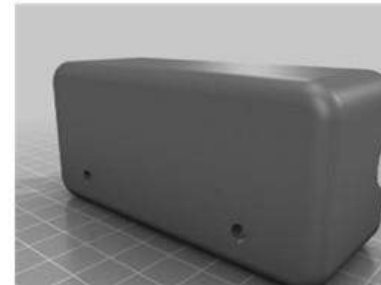


Основа для роликового підшипника

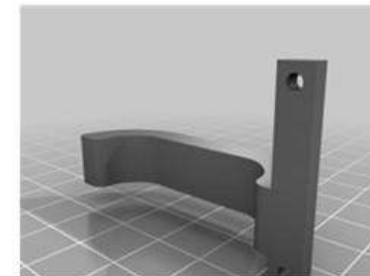
Розробка оригінальних деталей конструкції для центральної частини



Кутик

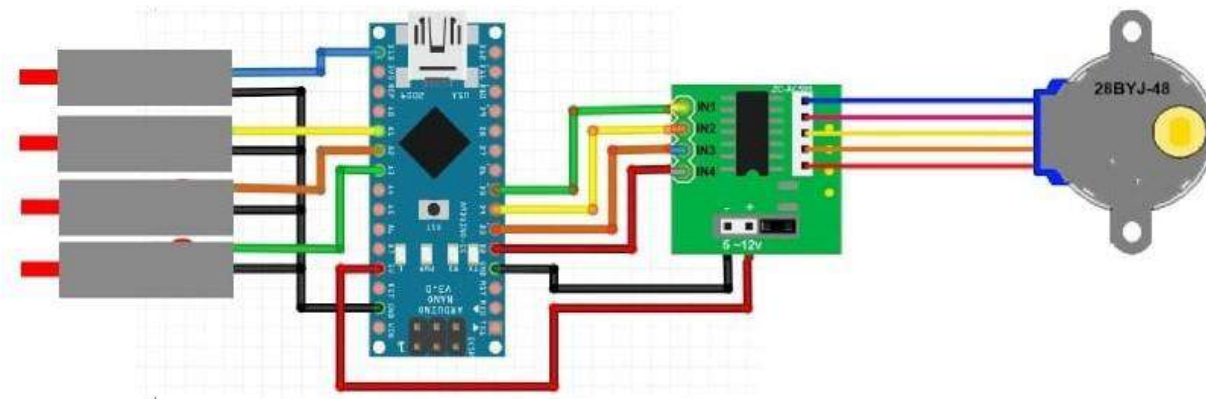


Кріплення плати Arduino

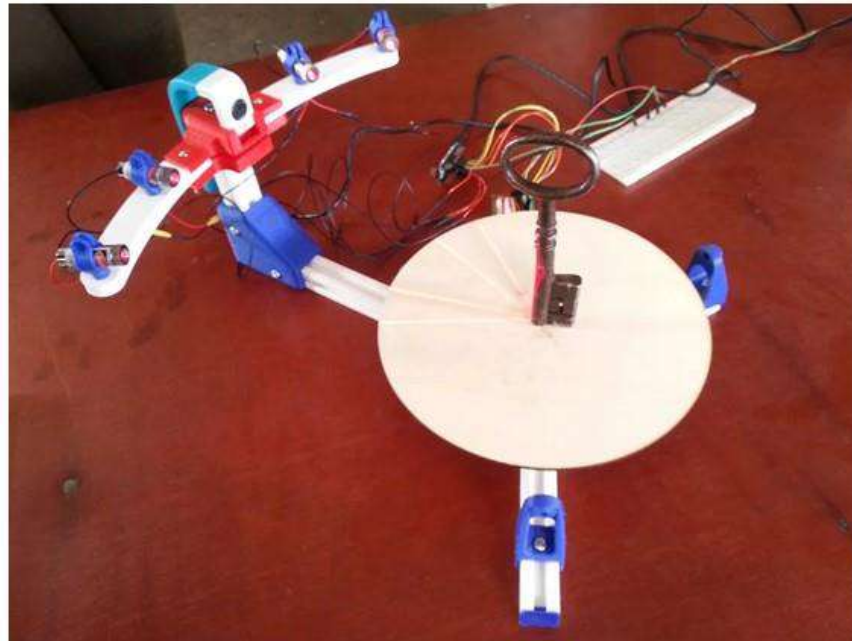


Затискач для плати

Схема основної частини системи лазерного сканування поверхні

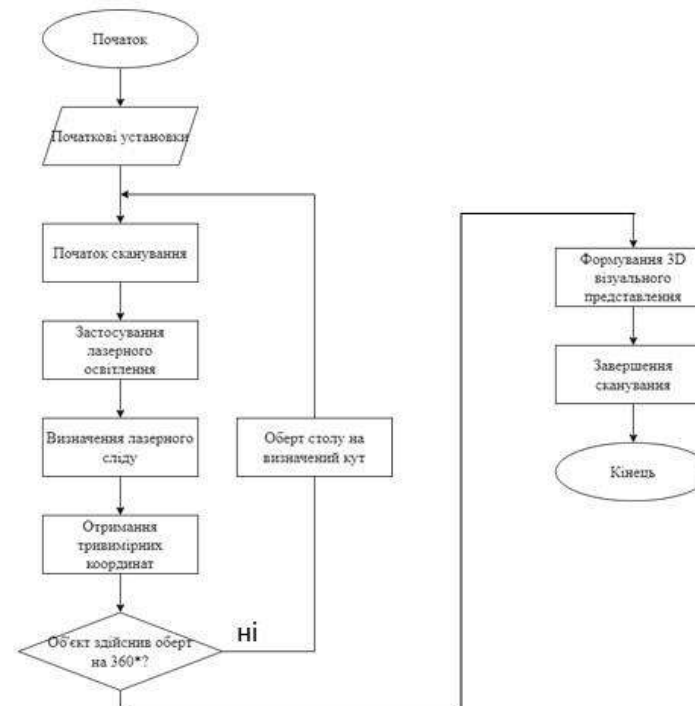


Система лазерного сканування побутового призначення



Зовнішній вигляд розробленої та виготовленої системи лазерного сканування поверхні для використання у побутових умовах

Блок-схема алгоритму роботи системи лазерного сканування поверхні

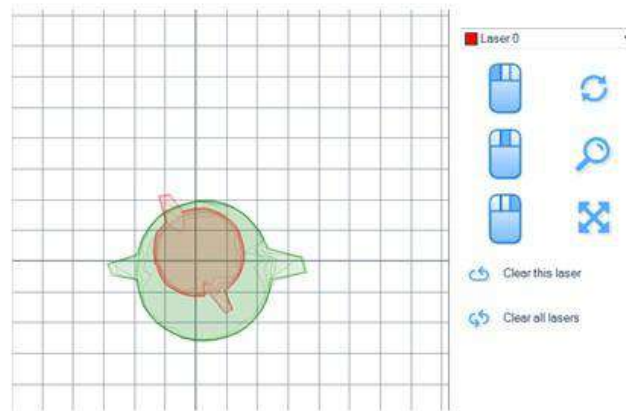




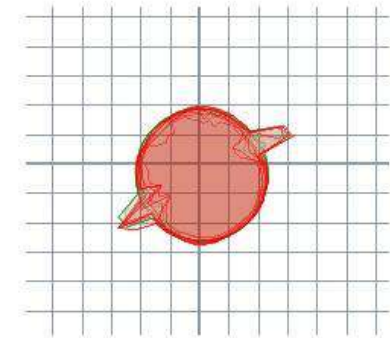
Калібрування ПЗ



Об'єкт для калібрування



Вид зверху об'єкта,
відсканованого декількома
лазерами



Вирівнювання сканів,
отриманих від різних
лазерів



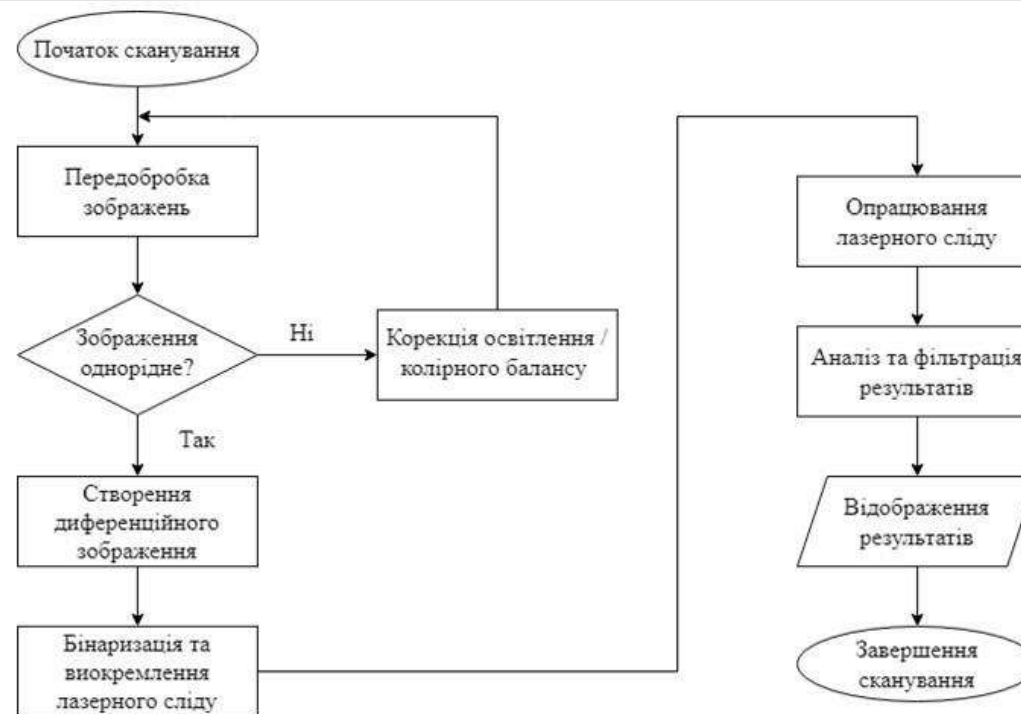
Шляхи оптимізації алгоритму роботи системи лазерного сканування



- Підвищення швидкості сканування
- Зменшення шуму та підвищення точності
- Адаптивне керування інтенсивністю лазера
- Використання оптимізованих алгоритмів визначення відмінностей між зображеннями та виділення лазерного сліду
- Покращення роботи з рухомими об'єктами
- Оптимізація зберігання та представлення даних
- Автоматизація процесу калібрування



Оптимізований алгоритм визначення відмінностей між зображеннями під час сканування





Висновки

У дипломній роботі магістра було розроблено систему лазерного сканування поверхні.

Перший розділ включає опис процесу лазерного сканування поверхонь, розгляд основних методів формування 3D-моделей об'єктів та їх порівняння. Також подається загальна структура систем лазерного сканування та описуються області їхнього використання. Аналізується загальний підхід до розробки таких систем та ставиться задача дипломної роботи магістра.

У другому розділі деталізується процес проектування системи лазерного сканування поверхонь. Визначаються ключові вимоги до системи, які є основою концепції та визначають напрямки розробки. Розглядається вибір комплектуючих для апаратної частини системи, наводяться моделі розроблених деталей. Подається структурна схема системи та описується функціонування розробленої системи сканування поверхонь для використання у побутових умовах. Надаються рекомендації з техніки безпеки при використанні системи.

У третьому розділі описується процес прошивки плати, встановлення програмного забезпечення для сканування, виконання операцій для калібрування системи та написання плагінів для удосконалення роботи системи.

Четвертий розділ пропонує шляхи оптимізації алгоритму роботи системи лазерного сканування, зокрема, шляхом апаратних та програмних рішень. Запропонований оптимізований алгоритм визначення відмінностей між зображеннями та виділення лазерного сліду, який націлений на підвищення ефективності та точності.

Наукова новизна дипломної роботи магістра полягає у розробці алгоритму визначення відмінностей між зображеннями під час сканування, що дозволяє підвищувати точність лазерного сканування об'єктів.

Практична цінність полягає в тому, що було розроблено систему лазерного сканування, що є достатньо простою, ефективною, має низьку вартість і може використовуватись для сканування у побутових умовах.

