

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Конструювання 3D-сканера на основі
мікроконтролера Arduino з розробкою керуючої
програми**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21
Марчук Сергій Федорович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2024 р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2024 року

Луцький національний технічний університет

Факультет Транспорту та механічної інженерії
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки
Другий (магістерський) рівень
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»
Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Р. РЕДЬКО
“ _____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
Марчука Сергія Федоровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Конструювання 3D-сканера на основі мікроконтролера Arduino з розробкою керуючої програми», керівник кваліфікаційної роботи магістра Четвержук Тарас Іванович к.т.н., доц. каф. ПМіМ затвержені наказом вищого навчального закладу від «30» грудня 2023 р. № 452/01-02

2. Строк подання студентом роботи 05.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, технічна документація конструктивних елементів, конструкторська документація, нормативні дані.

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

1. Здійснити аналіз вихідних даних та відомих рішень конструкцій 3D сканерів. 2. Визначити концепцію створення та застосування 3D сканера у різних інженерних галузях. 3. Провести вибір елементної бази (конструкції) 3D сканера з розробкою структурної та принципової схеми. 4. Створити керуючу програму роботи спроектованого пристрою. 5. Виготовити та налагодити макет 3D сканера. 6. Провести експериментальні дослідження.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Типові конструкції 3D сканера 1л - ф.А1; Схеми вимірювання відстані до сканованого об'єкта 1л - ф.А1, Електрична принципова схема 3D сканера 1л - ф.А1; Друкована плата 1л - ф.А1; 3D сканер у зібраному вигляді 1л - ф.А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

01.07.2024 р.

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Аналітичний розділ</i>	<i>30.10.2024</i>	
2.	<i>Схемотехнічна частина 3D сканера</i>	<i>10.11.2024</i>	
3.	<i>конструкторський розділ</i>	<i>15.11.2024</i>	
4.	<i>Програмування та дослідження роботи 3D сканера</i>	<i>25.11.2024</i>	
5.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	<i>5.12.2024</i>	
6.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>		

Студент

_____ (підпис)

Марчук С.Ф.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Четвержук Т.І.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Марчук С.Ф. Конструювання 3D-сканера на основі мікроконтролера Arduino з розробкою керуючої програми. – Рукопис.

Атестаційна магістерська робота на здобуття кваліфікації другого (магістерського) рівня вищої освіти із спеціальності 131 – Прикладна механіка. – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2024.

У даній роботі був розроблений діючий макет 3D сканера, який здатний сканувати мініатюрні об'єкти і виводити інформацію про об'єкт у форматі тривимірних координат. Сконструйований 3D сканер спроможний визначати просторові координати об'єкта і генерувати на їх основі хмару точок для відтворення віртуальної моделі реального об'єкта (мініатюрної деталі).

Для розробки керуючої програми, яка управляє логікою роботи пристрою використовувалося середовище розробки Arduino IDE. Для розведення плати користувався програмним пакетом EAGLE. Області застосування цієї роботи є експериментальні дослідження фізичних процесів 3D сканування, а також отримання 3D моделей об'єктів деталей для подальшого проектування та друку на 3D принтері.

Ключові слова: 3D сканер, конструювання, моделювання, структурна схема, керуюча програма, Arduino.

ANNOTATION

Marchuk S.F. Design of a 3D scanner based on an Arduino microcontroller with the development of a control program. – Manuscript.

Attestation master's thesis for obtaining the qualification of the second (master's) level of higher education in specialty 131 – Applied mechanics. – Lutsk National Technical University.– Lutsk, 2024.

In this work, a working model of a 3D scanner was developed, which is capable of scanning miniature objects and outputting information about the object in the format of three-dimensional coordinates. The designed 3D scanner is capable of determining the spatial coordinates of the object and generating a point cloud based on them to reproduce a virtual model of a real object (miniature part).

The Arduino IDE development environment was used to develop a control program that controls the logic of the device. The EAGLE software package was used to design the board. The areas of application of this work are experimental studies of the physical processes of 3D scanning, as well as obtaining 3D models of object parts for further design and printing on a 3D printer.

Keywords: 3D scanner, design, modeling, block diagram, control program, Arduino.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	11
1.1 Застосування 3D сканерів. Огляд існуючих рішень.....	11
1.2 Типові комплектації 3D сканерів.....	14
1.3 Класифікація 3D сканерів за методами сканування.....	18
1.4 Технології та методи 3D-сканування.....	21
1.5 Вибір концепції конструювання 3D сканера. Визначення принципу його роботи.....	30
1.6 Визначення електричних параметрів 3D-сканера та рекомендації з його експлуатації.....	32
2 СХЕМОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА 3D СКАНЕРА	33
2.1 Розробка структурної схеми.....	33
2.2 Розробка електричної принципової схеми.....	37
2.3 Розробка силової частини схеми.....	38
2.4 Розробка системи керування.....	41
2.5 Проектування друкованої плати.....	45
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	49
3.1 Моделювання каркаса 3D сканера	49
3.2 Створення корпусу.....	53
4 ПРОГРАМУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ 3D СКАНЕРА.....	56
4.1 Написання коду керування логікою роботи пристрою.....	56
4.2 Налагодження коду під 3D сканер.....	61
4.3 Обробка результатів сканування.....	62
4.4 Створення 3D моделі.....	63
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ.....	69

ВСТУП

Актуальність теми. В результаті розвитку технологій отримання тривимірних об'єктів з'являється все більше приладів та пристроїв, які дозволяють отримувати інформацію про структуру та геометрію зовнішнього світу та об'єктів, з яких він утворений. Одним з таких пристроїв слугує 3D-сканер, який дозволяє отримувати інформацію про форму предметів, шляхом аналізу їх фізичної форми в геометричному поданні і подальшим її оцифруванням. Надалі отримані дані про об'єкт у вигляді тривимірних координат X , Y , Z виводяться у вигляді хмари точок, розташування яких відтворює форму відсканованого об'єкта [3, 4].

Застосування 3D-сканера полягає в тому, щоб швидко отримати необхідну віртуальну модель з геометрією реального фізичного об'єкта, без вихідної побудови шляхом покрокового вимірювання відстані до об'єкта за допомогою скануючого пристрою (лазера, інфрачервоного далекоміра, камери і т.п.) з наступним перетворенням отриманих даних у формат координат X , Y , Z , поєднання та відтворення яких виведе 3D-модель відсканованої деталі.

В даний час існує проблема створення 3D моделей різних деталей так як на ручне проектування тривимірних об'єктів йде велика кількість розумових і часових витрат і зусиль, виникає потреба в спрощенні процесу проектування. Вирішити цю проблему дозволяє 3D сканер. На сьогодні на ринку досить багато сучасних 3D сканерів, які мають оптимальні характеристики для безпосереднього сканування, тобто можливості яких визначають високу швидкість обробки та перетворення отриманої інформації в необхідну геометрію [5]. Це дозволяє заощадити час, і при цьому не втратити продуктивну здатність. У рамках цієї роботи передбачається розробити, створити і налагодити невелику недорогу модель 3D сканера на базі мікроконтролера Arduino, який здатний сканувати невеликі об'єкти (деталі), виводити в тривимірний простір і роздрукувати на 3D принтері. Можливості 3D сканера обмежені його апаратними складовими (інфрачервоним далекоміром,

розміром столу та висотою установки). Така модель може бути використана як демонстраційний зразок, показуючи можливості 3D сканування на базі мікроконтролера Arduino, а також для вивчення фізичного процесу сканування в навчальних цілях.

Універсальність 3D сканерів проявляється у створенні віртуальних об'ємних моделей об'єктів промисловості, кіноіндустрії, науки, медицини та фізичних предметів. Як пристрої, 3D сканери стають дедалі доступнішим обладнанням, що робить його продуктом масового використання. Це супроводжується збільшенням конкуренції між суб'єктами ринку, розробниками 3D сканерів, що є основним каталізатором до розвитку самої тематики 3D сканерів і робить її все більш актуальною. Тому для побудови конкурентоспроможного рішення необхідно розбиратися в сучасних 3D сканерах: розуміти принцип роботи, конструкції, технології сканування, щоб ґрунтовно підійти до експлуатації та розробки власних рішень.

Завданням кваліфікаційної роботи було створення натурного макету 3D сканера, здатного визначати просторові координати об'єкта і генерувати на їх основі хмару точок для відтворення віртуальної моделі реального об'єкта – мініатюрної деталі.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи було конструювання 3D сканера на основі мікроконтролера Arduino з виготовлення реального зразка пристрою.

Для досягнення мети поставлено наступні *задачі*:

1. Здійснити аналіз вихідних даних та відомих рішень конструкцій 3D сканерів;
2. Визначити концепцію створення та застосування 3D сканера у різних інженерних галузях;
3. Провести вибір елементної бази (конструкції) 3D сканера з розробкою структурної та принципової схеми;
4. Створити керуючу програму роботи спроектованого пристрою;

5. Виготовити та налагодити макет 3D сканера;

6. Провести експериментальні дослідження.

Об'єкт дослідження. 3D сканер.

Предмет дослідження. Створення 3D сканера на основі мікроконтролера Arduino з розробкою керуючої програми.

Методи дослідження. CAD-CAM-CAE технології, математичне та комп'ютерне моделювання, системний аналіз, програмування Arduino на мові C++, емпіричний аналіз і синтез, технічне прогнозування, методика експериментальних досліджень.

Практичне значення роботи та новизна:

- здійснено огляд існуючих рішень та методів 3D сканування, на основі чого розроблено діючий макет 3D сканера із розробкою керуючої програми;

- спроектовано та виготовлено друковану плату для спрощення зв'язку між складовими компонентами сконструйованого пристрою;

- змодельовано та виготовлено несучу частину та корпус 3D сканера;

- написано програмний код для правильного функціонування 3D сканера;

- досліджено та запропоновано оптимальні параметри сканування для сконструйованого пристрою.

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати, які розкривають в повній мірі зміст кваліфікаційної магістерської роботи, технічні рішення та висновки належать автору. Самостійно поставлено мету і визначені задачі досліджень, проведено увесь комплекс технологічних та конструкторських рішень.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на IV студентській науково-технічній конференції «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії» факультету транспорту та механічної інженерії ЛНТУ, м. Луцьк, 15 листопада 2024 року.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, 4 розділів, висновків та переліку використаних літературних

джерел. Зміст роботи викладено на 65 сторінках друкованого тексту формату А4, містить 41 рисунок та 4 таблиці. Список використаних літературних джерел складається з 19 позицій.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Застосування 3D сканерів. Огляд існуючих рішень

Застосування тривимірних сканерів полягає у вирішенні низки технічних завдань, які виникають у таких сферах: промисловості, зокрема машинобудуванні; медицині; метрології та контролю вимірювань; архітектурі та дизайні; кіноіндустрії та відеоіграх [2].

Застосування 3D сканерів засноване на розв'язанні задач, коли необхідно за короткий час отримати тривимірну модель реального об'єкта з високою точністю. В цьому проявляється універсальність їх застосування у розпізнаванні складних геометричних форм. Завдяки цій здатності значно полегшується подальше ручне проєктування.

Найширше застосування 3D сканерів використовується на підприємствах різного виробничого призначення (машинобудування, авіабудування тощо), де переважно ставляться завдання реверс-інжинірингу (зворотного інжинірингу), коли необхідно відмасштабувати або змінити геометрію виробу, а конструкторська документація відсутня. Таким чином реальний об'єкт сканується і на основі даних сканування отримуємо CAD-модель, тобто відбувається переведення матеріального об'єкта в цифрову форму [12]. Тобто здійснюється завдання оцифрування фізичного об'єкта макета, для створення на його основі серійного виробу. Так, наприклад, унікальні за своєю геометрією поверхні, для прикладу автомобільних деталей та виробів (рисунок 1.1), можуть бути виміряні, проаналізовані та оцифровані для подальшого масового виробництва з використанням верстатів з ЧПУ.

Як правило, відскановані 3D дані для проєктування подібних виробів у серію не поширюється вільно, оскільки є об'єктом інтелектуальної власності компанії, що

володіє нею, і можуть передаватися тільки в комерційних цілях при співпраці з іншими компаніями.



Рисунок 1.1 – Сканування деталей автомобіля

У медицині 3D сканер є засобом для відтворення моделей людських органів, наприклад виміряти зуби в щелепі людини. З його допомогою можна відтворювати ортопедичні скоби, браслети та анатомічне взуття для подальшого проектування у CAD системах. В даний час досить часто 3D сканер застосовують у сфері протезування та імплантології [4].

Дизайнери в архітектурі використовують тривимірні сканери для отримання форми об'єкта, та можливості її доопрацювання в подальшому. Найчастіше тут виникають ситуації, коли необхідно зробити доволі багато замірів по об'єкту (наприклад, за макетом реальної будівлі), тому зазвичай обводять їх по контуру, обертаючи на спеціальному столі. У підсумку, апарат перетворює фізичний об'єкт на цифрову модель на комп'ютері. Після чого відкривається можливість їх друку на 3D принтері або обробці на верстатах з ЧПУ.

В індустрії розваг та відеоігор застосування 3D сканерів знаходить відображення у розробці цифрових моделей ігрових персонажів, моделей реальних акторів, а також об'єктів оточення та його декорацій з наступним поєднанням у загальну концепцію.

Робота з виготовлення деталі завжди починається з 3D-моделі, причому щоб отримати із заготовки або надрукувати потрібну деталь виникають наступні шляхи вирішення: розробити 3D модель у програмі тривимірного моделювання або скористатися можливостями 3D-сканування та отримати модель вже існуючої деталі, щоб потім відкоригувати її та використовувати [8]. Очевидно, що за своєю суттю другий варіант буде швидшим і можливо якіснішим. Наприклад, при ручному вимірюванні геометрично складної деталі важко досягти необхідної точності, і надалі передати всі нелінійності її форми при проєктуванні математичної моделі самої деталі. Ось тут і виникає потреба у 3D сканері, який за короткий термін здатний отримати готову математичну модель, еквівалентну еталонній.

3D-сканер розраховує відстань до об'єкта, використовуючи камери з конусоподібним полем зору. Тим самим, 3D сканеру доводиться дистанціюватися інформацією про поверхні в межах його поля зору, щоб уникнути втрати інформації. Також як допоміжний пристрій до камер використовується підсвічування (освітлювачі) для підвищення точності вимірювань. Картинка, що відтворюється за допомогою 3D сканера, описує відстань до поверхні в кожній точці на зображенні [2]. Це дозволяє отримувати вихідні дані координати X, Y, Z. Об'єм і якість даних залежать від 3D-сканера, який застосовується. Зрештою, видається тривимірне положення кожної точки на зображенні. Тим самим візуалізується зосереджений набір точок по геометрії, який є хмарою точок (рисунок 1.2).

В результаті сканування всі дані вимірювань у вигляді хмари точок аналізуються та виводяться на екран у вигляді тривимірного зображення за допомогою комп'ютера за спеціальним програмним забезпеченням (ПЗ), що з'єднує

комп'ютер зі сканером. Завдяки цьому ПЗ можна керувати процесом сканування, змінювати дані: вибрати роздільну здатність та необхідні області для уточнення деталізації, реєстрації даних, а потім об'єднувати їх для створення повноцінної 3D моделі.

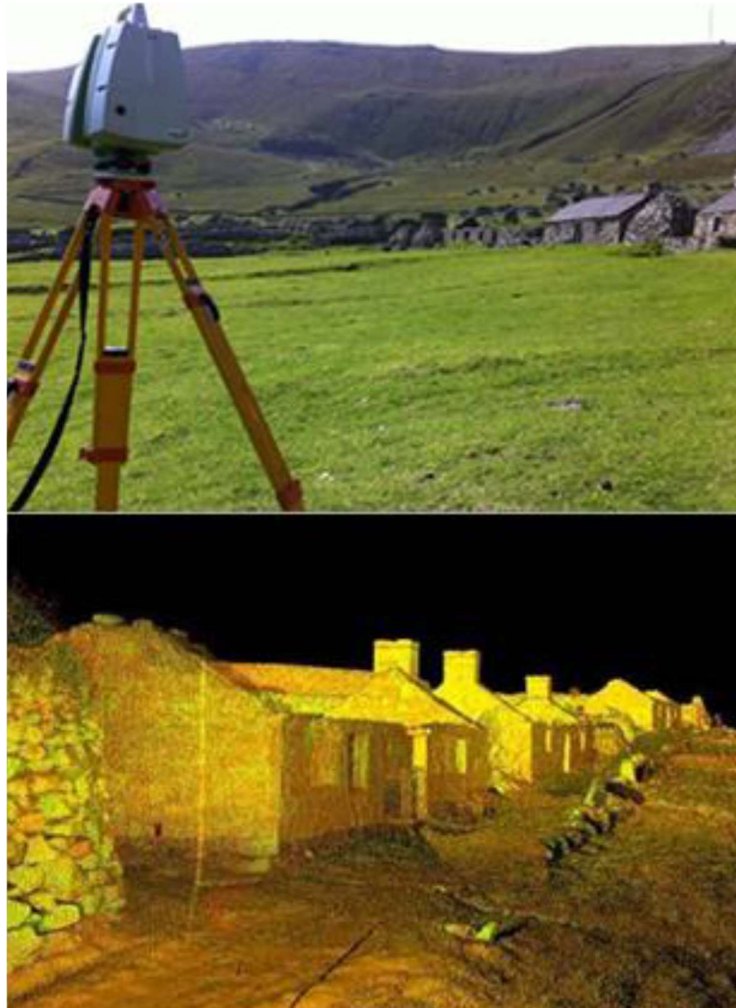


Рисунок 1.2 – Хмара точок, яка отримується в результаті 3D-сканування об'єктів

Таким чином, основною перевагою 3D сканування є збирання та отримання інформації про об'ємний об'єкт за короткий час і з гарною якістю деталізації деталей, особливо якщо сканер обладнаний високоякісними скануючими модулями з високою роздільною здатністю і швидкістю аналізу.

1.2 Типові комплектації 3D сканерів

Типова комплектація 3D сканера наведено рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – 3D сканер у повній комплектації

Основний комплект комплектації 3D сканера складається з:

- корпусу 1, який визначається функціональним призначенням сканера;
- несучої частини (фундаменту) 2. І рухомої частини (рухома платформа), при обертанні на якій об'єкт розпізнається і аналізується у всьому об'ємі і перетворюється на тривимірний простір. Рухома частина (обертальний рух) приводиться в дію завдяки кроковому двигунові;
- триноги та штатива 3;
- сканувальних сенсорів 4 (наприклад, камери, лазерних датчиків, інфрачервоних сенсорів, а також контактних датчиків), за допомогою яких відбувається вимірювання відстані до об'єкта та подальше перетворення вимірювань у тривимірне зображення;
- спеціальних освітлювачів 5, які розміщують поруч із скануючими сенсорами для підтримки рівномірного освітлення під час сканування, а також у деяких

випадках проектують світлові сітки безпосередньо на об'єкт (за допомогою проектора), а камери аналізують деформації на об'єкті та отримують картинки;

- базових міток 6 для калібрування 3D сканера та прив'язки до досліджуваного об'єкта під час сканування.

В апаратну частину сканера входить контролер управління пристроєм, пам'ять, що використовується для запису та зберігання отримуваної інформації під час сканування, а також блоку живлення для живлення системи та USB перехідника від 3D сканера для зв'язку з комп'ютером [15]. До апаратної частини доводиться спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ) з драйверами для самого пристрою. За допомогою нього 3D сканер взаємодіє з комп'ютером (ноутбуком), передаючи та відтворюючи дані (хмара точок) на моніторі комп'ютера.

Визначення форм фактору та методу сканування за допомогою 3D сканера виступають головними аспектами при побудові конструкції та електричної складової 3D сканера. Визначення необхідної якості сканування залежить від таких характеристик (таблиця 1).

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики 3D сканера та їх взаємозалежність

Технічна характеристика	Опис	Факторна залежність
Роздільна здатність	Найменша відстань між сканованими точками, мм.	Обумовлюється розмірами сканованої області, що характеризує роздільну здатність і принцип роботи сканера.
Точність	Сумарна похибка вимірювання, мм.	Включає як випадкову, так і систематичні складові.
Шум	Випадкова сумарна похибка вимірювання. Встановлюється при повторному скануванні шляхом порівняння з першим результатом.	Залежить від якості поверхні (гладкість/шорсткість, неоднорідності) об'єкта, який сканується, розташування камер (щодо об'єкта і один одного), освітлення об'єкта і т.д.
Деталізація	Розмір об'єкта в мм, який може розпізнати сканер. (Стандартне значення для 3D-сканера: 1 мм.)	Показники деталізації в залежності від типу сканера можуть змінюватись. Порівняно зі стаціонарними, ручні сканери мають менші значення деталізації.

Ключовою характеристикою таблиці 1.1 є точність, яка показує рівень відповідності отриманої моделі реальному зразку. Точність, як параметр, визначає похибку, а також діапазон, в межах якого можуть зосереджуватися результати порівняння.

Для забезпечення ідеальної точності потрібне дороге обладнання, але не для всіх виробів потрібні високі показники точності. У цьому випадку вигідніше використовувати бюджетніші рішення. У загальному випадку при скануванні більшості виробів достатньо точності 0,1% від вимірюваної довжини [8]. У більшості завдань, наприклад, при скануванні невеликих деталей, скульптур та ювелірних виробів висуваються елементарні вимоги до точності, тому в першу чергу слід знизити шум, покращити деталізацію, максимально опрацювати поверхню об'єкта. Приклади завдань та вимоги щодо точності наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Приклади задач та вимоги щодо точності

Приклад задачі	Вимоги
Сканування невеликої деталі, статуетки, макету будівлі, фігурки тощо. Зменшені копії об'єктів передбачається виготовляти за допомогою верстатів із ЧПУ або друкувати на 3D принтері.	В цьому випадку потреби у високій точності немає. Велике значення має отримання візуально-ідентичного результату, тобто потрібна висока деталізація, мінімальний рівень шуму. Кінцевий результат – отримання STL файлу, придатного для подальшої роботи з власне виготовлення.
Сканування велосипедної вилки, педалі, рами. Результати сканування стануть основою моделювання іншої вилки, педалі, рами.	Особливу важливість мають місця кріплень, посадки та лінії з'єднання. У зазначених місцях потрібна точність близько 0.5 мм.
Сканування скляної пляшки. На основі отриманого результату буде створено нову форму.	Вимоги щодо точності мінімальні. Форма шийки та елементи різьблення беруться із CAD моделі. Так як форма гладка, значення рівня шуму та деталізації не значні.
Сканування складнопофільного невеликого об'єкту, наприклад перстня, сережок, підвіски.	Результат має бути з високою роздільною здатністю та деталізацією, низьким рівнем шуму. Значення точності не важливі.

Таким чином, збільшення якості скануючої системи виникає найчастіше через необхідність сканування об'єктів, пріоритетом в яких безпосередньо ставитися якість високого рівня деталізації, а де необхідності в цьому немає, встановлюють більш економічні рішення. Так, в межах завдання даної магістерської кваліфікаційної роботи не виникає потреби у досягненні високої деталізації, тому що 3D сканування передбачається використовувати для власних потреб та з навчальною метою.

1.3 Класифікація 3D сканерів за методами сканування

В даний час 3D-сканери за методами сканування поділяються на два основні види [5]:

1. Контактний. Такий вид 3D сканера працює наступним чином: об'єкт кріпиться до повірочної плити, пристрій тактильно знімає показання (наприклад, обведенням моделі спеціальним високочутливим щупом), після чого результати показань переносяться в тривимірний простір у вигляді координат сканованої моделі (рисунок 1.4). Такі сканери проводять вивчення об'єкта безпосередньо за реальними розмірами та формою.



Рисунок 1.4 – Приклад сканування щупом на контактному 3D сканері

В цілому контактне сканування не залежить від умов освітлення. Під час експлуатації і результату роботи контактним 3D сканером, можна виділити переваги і недоліки цього типу:

Переваги: - висока деталізація; - незалежність від світлових умов (освітлення); - можливість сканування призматичної частини об'єкта; - цінова доступність.

Недоліки: - повільний процес сканування та аналізу в цілому (за один вимір проводиться оцифрування лише однієї точки); - обмеження сканування рухомих об'єктів, а також об'єктів, що мають складну геометричну форму.

2. Безконтактний. Такий вид 3D сканера здійснює випромінювання чи відбиття світлового потоку (з допомогою ультразвуку і рентгенівських променів), через який предмет сканується, тобто. піддається цифровому дослідженню.

Безконтактні сканери поділяються на 2 види: активні та пасивні.

а) Активні сканери випромінюють на об'єкт спрямовані хвилі у вигляді лазерного променя або структурованого світла та виявляють його відображення, після чого аналізують (рисунок 1.5). Зазвичай в безконтактних активних 3D сканерах використовується світлодіодний або лазерний промінь, рідше – рентгенівське випромінювання, інфрачервоне випромінювання або ультразвук.



Рисунок 1.5 – Приклад безконтактного активного 3D сканера

б) Пасивні сканери виявляють відбите навколишнє випромінювання. Зазвичай виявляється видиме світло як природне випромінювання довкілля (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Приклад безконтактного пасивного 3D сканера

Ключовими компонентами 3D-сканерів пасивного типу є камери, які об'єднують (зводять) матеріал в одну об'ємну фігуру за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Класифікація безконтактних сканерів проводиться за такими критеріями:

- ручний або стаціонарний (має платформу, на якій знаходиться сканований об'єкт або вимагає обходу навколо об'єкта);
- метод вимірювання (триангуляційний, часоплинний, фазовий);
- розмір об'єкта сканування;
- швидкість сканування.
- точність вимірювання;
- роздільна здатність скануючих модулів (камери, ІЧ-датчика, лазера).

Таким чином, контактні 3D сканери мають перевагу в якості одержуваних об'єктів, однак, не мають здатності їх передачі кольору. Їх використання виявляється куди більш трудомістким порівняно з безконтактними сканерами. Маючи хороші швидкості сканування, вони дозволяють отримати необхідну модель за короткий термін із збереженням кольору об'єкта сканування.

1.4. Технології та методи 3D-сканування

В даний час існує багато різних 3D сканерів, які працюють за різними технологіями сканування. Виділяють такі основні технології тривимірного сканування [4]:

Для контактних 3D сканерів:

1. Контактна. Така технологія сканування, або контроль геометричних розмірів проводиться за допомогою підведення вимірювального щупа до об'єкта, який вимірюється, реєструючи найменші дотики. Процес такого сканування найповільніший і найточніший. Наприклад, за такою технологією працює 3D сканер, що застосовується для контролю прес форм – Faro Arm Edge 9 (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – 3D сканер Faro Arm Edge 9

Він являє собою 7-осьову вимірювальну руку, обладнану магнітною основою, яка дозволяє надійно закріпити сканер на будь-якій рівній металевій поверхні.

Дані сканери досить широко застосовуються на високоточних виробництвах контролю геометричних розмірів своєї продукції.

Для активних безконтактних 3D сканерів:

1. Лазерна. Це технологія безконтактного неруйнівного контролю, яка в цифровому форматі фіксує форму фізичних об'єктів за допомогою лазерного променя. Лазерні 3D-сканери вимірюють найдрібніші деталі та фіксують довільні форми для швидкого створення високоточних хмар точок. Лазерна технологія містить у собі такі методи сканування:

а) Триангуляційний метод вимірювання відстаней. В даному методі відбувається вимірювання відстані з використанням лазерного модуля та оптичного сенсора, які знаходяться на деякій відстані та під кутом α відносно один від одного. Схематична ілюстрація вимірювання відстані наводиться на рисунку 1.8.

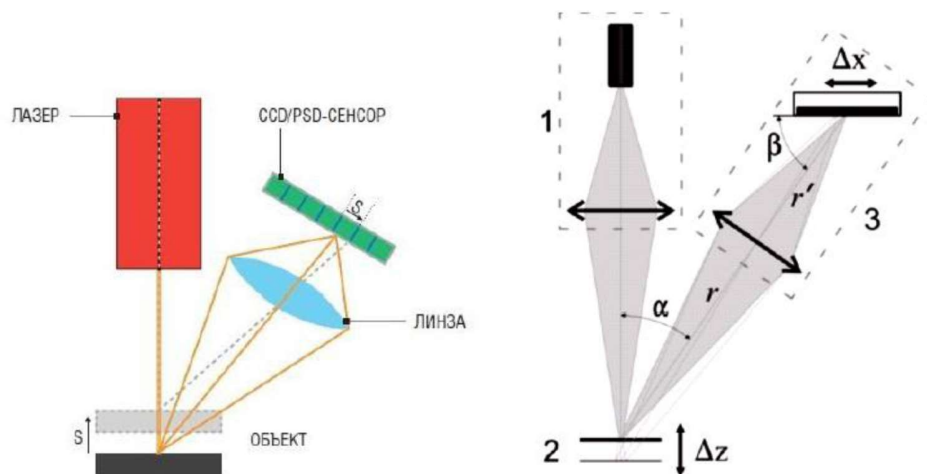


Рисунок 1.8 – Схема вимірювання відстані триангуляційним методом.

За даною схемою вимірювання відстані на поверхню об'єкта подається лазерний промінь, що надходить з лазера. Потім він відбивається від об'єкта і

зчитується сенсором, потрапляючи до його зору, після чого вимірюються відстані до об'єкта. Відповідно внаслідок одного вимірювання утворюється трикутник у співвідношенні: «лазер – об'єкт – сенсор». Слід зазначити, що в залежності від зміни відстані до об'єкта також змінюється розташування лазерного сліду на ньому, що відіграє ключову роль у формуванні кінцевого результату сканування. Існує математична залежність між відстанню на матриці і відстанню до об'єкта, яка визначається за формулою 1.1.

$$\Delta z = \frac{r \cdot \sin}{\sin(\alpha - \varphi)} \quad (1.1)$$

де r – відстань до об'єкта;

α – фіксований кут між лазером та камерою;

φ – фазове зміщення

За формулою 1 розраховується різниця відстаней, яка є шуканою калібрувальною відстанню між платформою із закріпленим об'єктом сканування та лазером, який генерує на нього промінь. Потенціал методу триангуляції полягає у вимірі відстані не тільки для однієї точки, а й до цілої групи вертикальних точок. Це досягається з використанням спеціального лазерного модуля, фокус якого зосереджений над однією точці, а виводиться цілої вертикальної лазерної лініїю (рисунок 1.9).

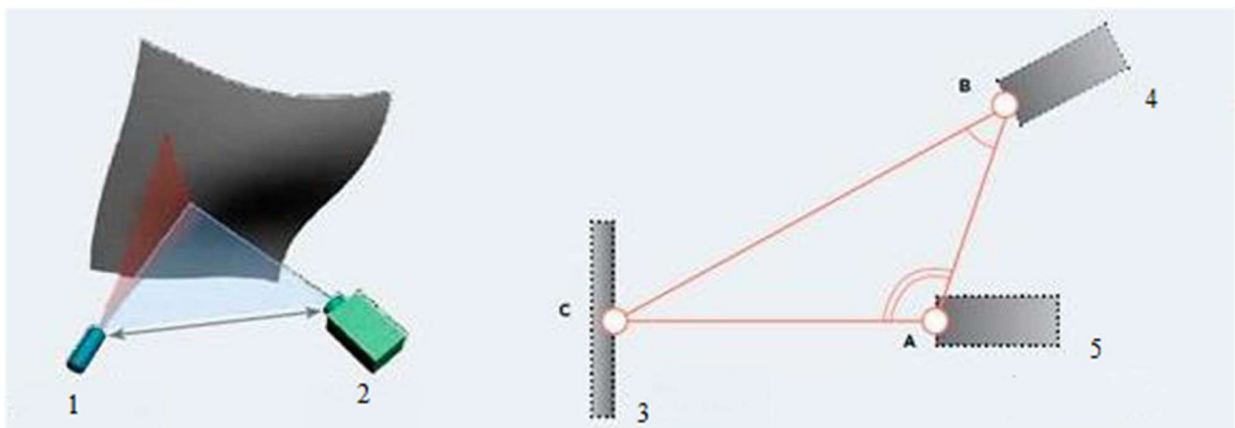


Рисунок 1.9 – Схема вимірювання лазерної лінії відстані до об'єкта

1 – джерело лазерного променя, 2 – приймач, 3 – об'єкт сканування, 4 – приймач, 5 – джерело лазерного променя

Згідно даної схеми видно, що при вимірюванні відстані утворюється трикутник з вершинами А (джерело лазерного випромінювання), В (приймач), С (об'єкт сканування), розташовані під кутами, при зміні яких змінюється розташування лазерного фокусу на об'єкті. Незважаючи на те, що 3D сканери триангуляційного типу мають кращу точність сканування, вони не здатні розпізнавати далекі об'єкти, на відміну від сканерів, заснованих на вимірюванні часу відгуку променя. За такою технологією працюють 3D сканери, що використовуються для сканування мініатюрних деталей, фігурок, дитячих іграшок, для подальшого друку на 3D принтері: BQ Ciclop, Digitizer (MakerBot), які представлені на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – 3D сканери, які працюють за методом лазерної триангуляції:
а) BQ Ciclop; б) Digitizer (MakerBot)

За цією технологією працюють також портативні ручні версії сканерів, що мають кращу швидкість сканування. Один із найпопулярніших ручних 3D сканерів, які працюють за такою технологією: Shining 3D FreeScan X7 (рисунок 1.11).

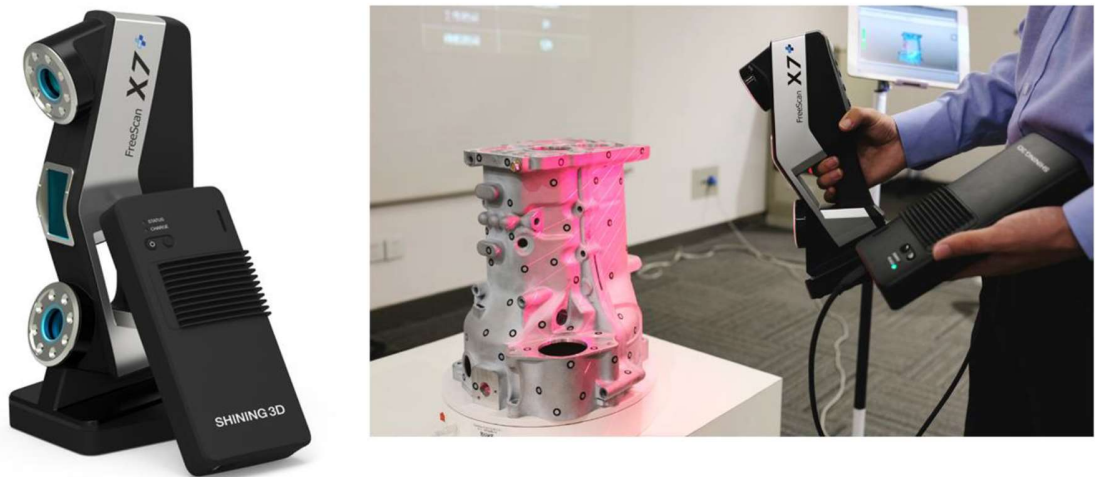


Рисунок 1.11 – Ручний 3D сканер FreeScan X7, що працює за методом лазерної тріангуляції

б) Часоплинний метод вимірювання відстаней. Даний метод вимірювання відстані полягає у вимірюванні часу відгуку лазерного променя від поверхні об'єкта, за допомогою випромінювання променя з випромінювача, який в результаті відображення від вимірюваного об'єкта фіксується приймачем. У цьому методі перевіряється стан приймача шляхом створення високої частоти оброблювального пристрою. На рисунку 1.12 наводяться схематичне уявлення вимірювання відстані.

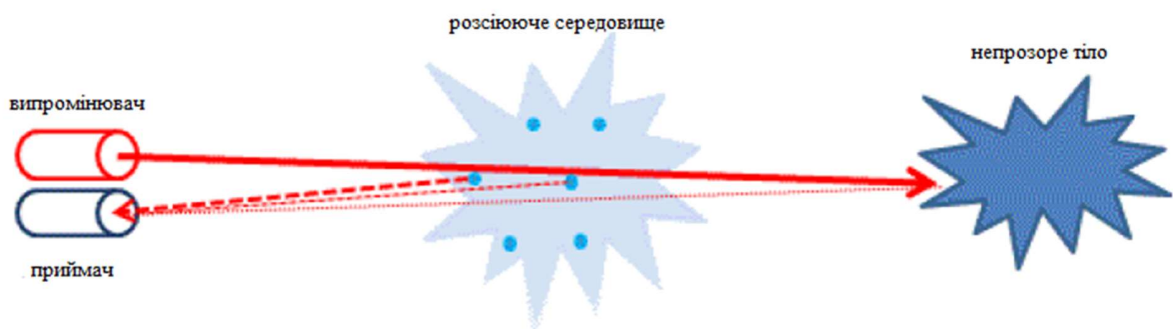


Рисунок 1.12 – Схема часоплинного вимірювання відстані

Для цієї схеми характерна залежність відстані від часу (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Залежність відстані від часу у чисельному вигляді

Відстань до цілі, L	1 м	10 м	100 м	1000 м	10000 м	100000 м
Час відгуку, t	6,7 нс	67 нс	0,67 мкс	6,7 мкм	67 мкс	0,67 мс

Відстань до сканованого об'єкта, знаходиться за формулою 1.2

$$L = \frac{c \cdot t}{2 \cdot n} \quad (1.2)$$

де c – швидкість світла;

t – час від моменту випромінювання променя на об'єкт до моменту відображення від нього та зчитування приймачем;

n – показник заломлення середовища.

Виходячи з цього швидкість розповсюдження світла у вакуумі відмінна від швидкості розповсюдження фотона світлі в конкретному середовищі. Цей метод сканування вважається досить складним, так як основна складність виникає з підрахунком часу відгуку лазерного променя на малих відстанях (менш метра). За такою технологією працюють також 3D сканери FARO Focus 3D та Leica HDS8800.

в) Фазовий метод виміру відстаней. Цей принцип дії даного методу вимірювання відстані заснований на вимірюванні різниці фаз відбитого світла, яке прийшло у приймач, від об'єкта сканування. Багаторазово вимірюється різниця фаз для різних модулюючих частот. Потім за отриманими значеннями вимірів обчислюється рівняння для знаходження відстані до об'єкта (формула 1.3):

$$D = \frac{c}{2 \cdot f} \cdot \frac{\varphi}{2 \cdot \pi} \quad (1.3)$$

де φ – фазове зміщення

c – швидкість світла;

f – модулююча частота

Формулою 1.3 можна користуватися тільки у випадку, якщо відстань до об'єкта менше половини довжини хвилі модулюючого сигналу – $c/2f$. Інакше

неможливо порахувати кількість періодів хвилі, кількість яких вкладається у відстань, яка вимірюється. У цьому випадку у лазері перемикають частоту модуляції, після чого процес вимірювання відновлюється. Так як компаратор вимірює різницю фаз, а різницю у вольтах відповідає різниці в амплітудах і фазі, то в рівняння синусоїди можна поставити поточне значення амплітуди, максимальне значення і знайти фазу.

Схема вимірювання відстані фазовим методом, наведена на рисунку 1.13, відображає фізичний сенс виникнення різниці фаз.

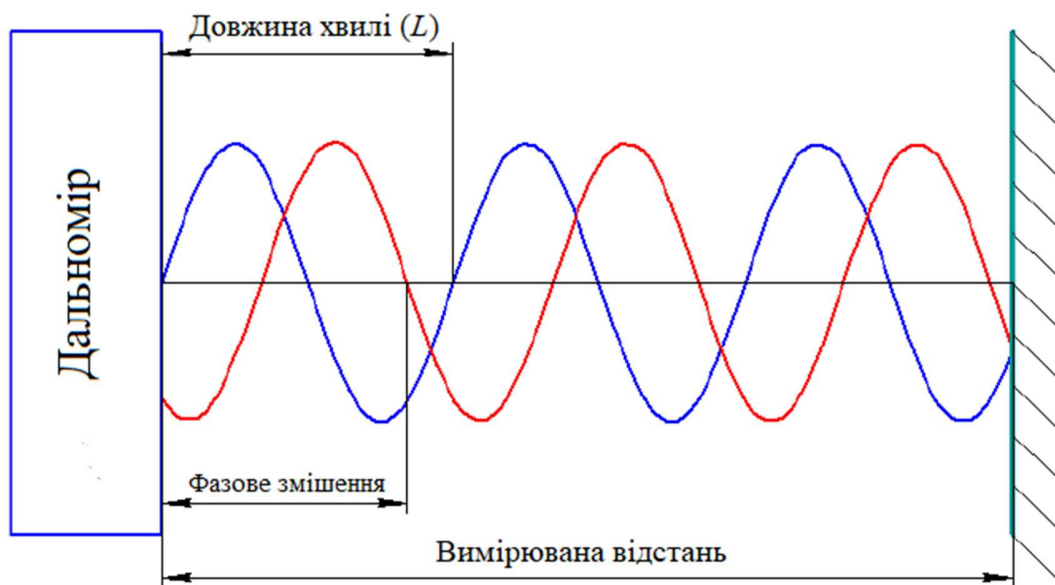


Рисунок 1.13 – Схема вимірювання відстані фазовим методом

За цією схемою визначається вимірювальна відстань до об'єкта вимірювання. За довжиною хвилі, яка утворюється дальноміром, визначається сама точність методу вимірювання, після чого формується остаточний результат виміру. На фазовому методі сканування засновано роботу 3D сканера Z+F IMAGER 5006.

2. Оптична технологія. Така технологія дозволяє досягати великої швидкості сканування, а також зчитувати об'єкти під час руху [4]. Оптична технологія описується наступним методом сканування:

а) Метод сканування структурованим світлом. За таким методом проводиться проєкція світлової сітки як «зебри», чи «чорно-білих квадратів» на об'єкт. У цей момент камери починають фотографувати об'єкт та аналізувати деформації на ньому. На основі деформацій відбувається генерація 3D моделі сканованого об'єкта. Технічно, сітка проєктується на об'єкт за допомогою рідкокристалічного проєктора, а камера, яка розташована трохи осторонь проєктора, фіксує форму самої сітки і обчислює відстань до кожної точки в полі її зору.

Недоліком даної технології є обмеження сканування великих об'єктів. Недолік можна усунути, якщо розмітити об'єкт спеціальними базовими точками, які дозволяють сканувати великі об'єкти частинами з наступною «склейкою» моделі.

За такою технологією працюють такі 3D сканери: RangeVision Smart; RangeVision PRO (рисунок 1.14)



а)



в)



б)

Рисунок 1.14 – Стационарні 3D сканери, що працюють за методом структурованого світла: а) RangeVision Smart; б) RangeVision PRO; в) David SLS-3

Для безконтактних пасивних 3D сканерів:

а) Стереоскопічний метод сканування. У сканерах, які базуються на стереоскопічному методі сканування, є дві камери повернені під невеликим кутом відносно один одного. Аналізуючи різницю між двома зображеннями, будується тривимірна модель. Точність таких сканерів не висока, проте дозволяє отримати кольорову тривимірну модель. За різницею у знімках кожної камери можна визначити відстань до кожної точки на зображенні. Цей метод за своїм принципом нагадує стереоскопічний зір людини. З такою технологією вимірювання працюють 3D-сканери Einscan-S від компанії Shinning 3D: EinScan-S, EinScan-SE (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – 3D сканери Shinning 3D: а) EinScan-S; б) EinScan-SE, які працюють за стереоскопічним методом сканування

б) Фотометричний спосіб сканування. Тут використовується фотограмметрична зйомка, а також є у додатку спеціальна система міток, що дозволяє програмі з великою точністю визначити з якого ракурсу і яка частина об'єкта була сфотографована і як наслідок – зробити більш точну модель. Найбільш якісне рішення має 3D сканер AICON DPA від компанії AICON.

Найчастіше така технологія використовується при скануванні великих об'єктів, а також є додатковим атрибутом для підвищення точності сканування.

в) Спосіб силуету. Полягає у створенні серії знімків та використанні на контрастному фоні контурів з отриманих фотографій самого тривимірного об'єкта. Ці силуети перетворюють отримання видимої оболонки об'єкта. При цьому способі неможливе сканування заглиблення.

Таким чином, в результаті розгляду існуючих технологій та методів 3D-сканування було розкрито фізичні та технічні особливості, які враховуватимуться при загальному аналізі та формуванні власного рішення з конструювання 3D сканера.

1.5 Вибір концепції конструювання 3D сканера. Визначення принципу його роботи.

На основі проведеного аналізу в підпункті 1.3-1.4 слід також відзначити, що кожен із розглянутих 3D сканерів обладнується власним апаратно-програмним комплексом, який працює зі спеціалізованим програмним забезпеченням, яке сумісне лише з моделями самої фірми. Виходячи з цього, з метою спрощення реалізації управління пристроєм було прийнято рішення скористатися модифікованим апаратно-програмним комплексом Arduino, під який можна написати і налагодити код управління логікою роботи пристрою в спеціальному середовищі програмування Arduino IDE [1]. Таким чином, розглянувши представлені рішення, а також переваги та недоліки, які лежать в їх основі, було вирішено розробити безконтактний діючий макет 3D сканера. Він буде мати конструкцію з рухомим столом, який приводиться в рух кроковим двигуном. Як датчик відстані вирішили використовувати інфрачервоний датчик відстані з триангуляційним методом вимірювання відстані, який більш дешевий і доступний серед своїх аналогів, здатних вимірювати відстань від 2 до 15 см. Керування системою відбуватиметься завдяки апаратній платформі Arduino. Вона більш проста і доступна в програмуванні і налагодженні як мікроконтролерна система управління.

Фізичний принцип роботи 3D сканера полягає в циклі сукупної роботи всіх функціональних компонентів системи, які взаємодіють один між одним при отриманні сигналів управління з мікроконтролера Arduino. Сканування відбувається, починаючи від фіксованого положення платформи для сканування з інфрачервоним далекоміром, коли кроковий двигун починає обертати стіл з предметом (рисунок 1.16).

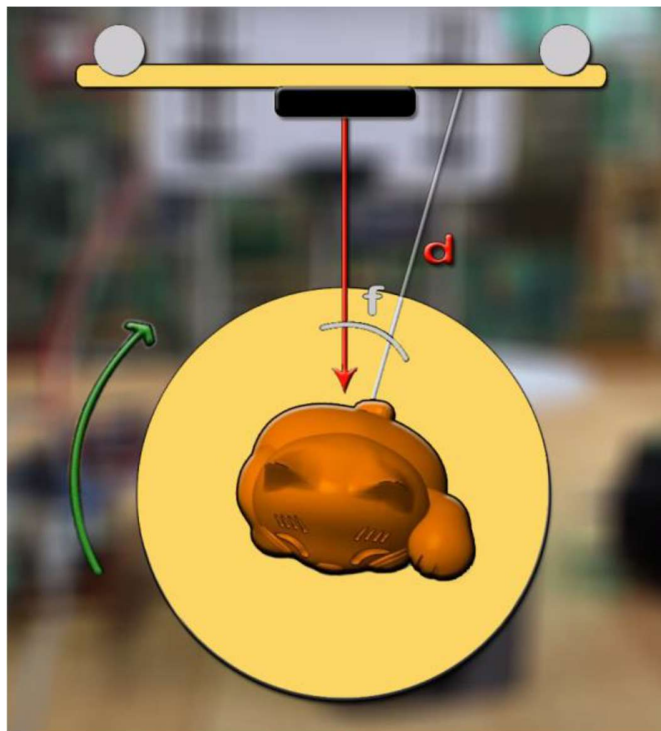


Рисунок 1.16 – Процес обертання столу з об'єктом сканування

У цей момент часу задіюється інфрачервоний далекомір, який здійснює вимірювання відстані d до об'єкта паралельно обертанню стола. Здійснюючи один оборот, кроковий двигун повертає стіл на 360° з певним кутовим кроком $f = 1,8^\circ$ після чого інший кроковий двигун, який відповідає за положення скануючої платформи з інфрачервоним далекоміром, задає напрямній осі з різьбою (осі Z) обертальний рух, платформу на фіксований крок вгору (рисунок 1.17).

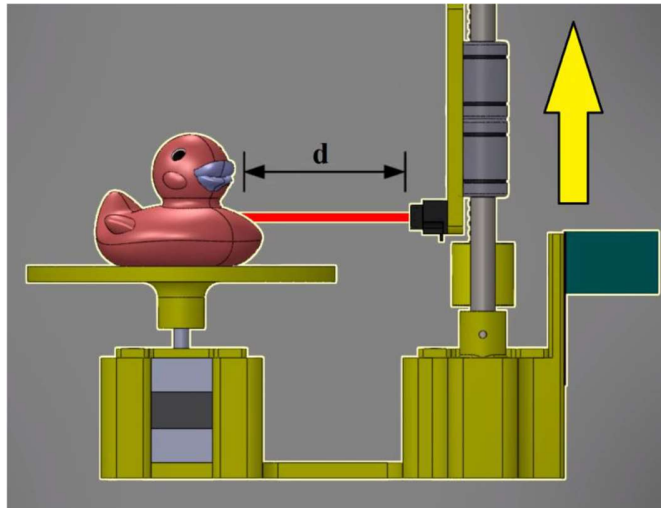


Рисунок 1.17 – Процес руху платформи по осі Z

Цей цикл повторюється до досягнення крайнього положення по висоті (осі Z), заданої у програмі сканування. Сканування проводиться завдяки триангуляційному методу вимірювання відстаней (способу, при якому з випромінювача на об'єкт випускається промінь, який після відображення від нього фіксується приймачем). Після процесу сканування та переведення даних сканування на SD карту необхідно перетворити сформовану хмару точок на тривимірний об'єкт. Це можна зробити за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке базується на подібних операціях до Meshlab. Зрештою сканування зводиться до отримання хмари точок, розташування у просторі яких відтворює необхідне геометричне уявлення просканованої фізичної моделі для подальшої інженерної роботи.

1.6 Визначення електричних параметрів 3D-сканера та рекомендації з його експлуатації

Електричні параметри пристрою 3D сканера згідно [18]:

- живлення електричної схеми 3D сканера повинне проводитися від зарядного пристрою, який перетворює змінну напругу 220 В, що споживається з мережі змінного струму, в постійну напругу 12 В із силою струму 1,5 А;

- після зарядного пристрою живлення схеми має розподілятися по доріжках розвідної друкованої плати, надходячи на драйвери управління, які споживають 1,5А;

- у схемі передбачається двох контактний вимикач, що використовується для вмикання та вимикання пристрою;

- від драйверів управління відбувається живлення крокових двигунів, що подається лінією проводів від роз'ємів розвідної схеми;

- живлення інфрачервоного далекоміра проводиться з гнізд розвідної друкованої плати та становить 5В;

- на адаптер карт пам'яті microSD, який підключається до розмічених пінів на платі, подається напруга 5В;

- живлення мікроконтролера здійснюється по піну RAW та приймає напругу в діапазоні 6-18 В.

Умови використання пристрою.

Скановані об'єкти повинні бути розміром не більше 100 мм у діаметрі та не більше 100 мм по вертикалі. Також вони повинні мати матове покриття, щоб уникнути шумів усередині хмари точок, яка генерується. Час сканування при висоті 100 мм і роздільній здатності 0,5 мм за повний цикл роботи пристрою становить 1 годину. Вимірювання відстані до об'єкта лежить в діапазоні 2-15 см. Не всі об'єкти можуть бути відскановані у вигляді обмеженої гостроти сприйняття інфрачервоним далекоміром нестандартних геометричних особливостей об'єкта (впадин та порожнин), які вимагають більш точного скануючого модуля. Тому пристрій передбачає сканування об'єктів з переважно округлих геометричних форм.

Експлуатація пристрою відбувається у такому порядку:

- 1) Активація 3D сканера під час підключення пристрою до мережі живлення;
- 2) Сканування об'єкта від низу столу по всій висоті заготовки до висоти, зазначеної у програмі;

- 3) Виведення інформації про 3D об'єкт на карту SD;
- 4) Імпорт файлу з даними у середовище 3D-моделювання;
- 5) Відтворення інформації у тривимірному просторі, виведеній у файлі з координатами X, Y, Z.

Висновки до першого розділу

Таким чином, після постановки мети магістерської роботи та завдань щодо її реалізації було проведено ґрунтовне дослідження теми 3D сканування. Було здійснено огляд та аналіз існуючих рішень 3D сканерів, за основними параметрами яких вдалося визначити ключову концепцію конструювання пристрою, спираючись на яку відбудуватиметься його технічна реалізація.

РОЗДІЛ 2

СХЕМОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА 3D СКАНЕРА

2.1 Розробка структурної схеми

Під час розробки схемотехнічної частини з урахуванням певного типу та електричних характеристик конструйованого пристрою, ми створили структурну схему, зображену на рисунку 2.1. Вона дає уявлення з яких частин повинна будуватися електрична схема 3D сканера.



Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою 3D сканера для побудови електричної схеми

Дана структурна схема відображає суть з'єднання та шляхи взаємодії компонентів системи 3D сканера. Опіраючись на цю структурну схему та певні електричні параметри пристрою, проведено підбір елементів електронної компонентної бази [12]. Як скануючий пристрій вибрали інфрачервоний датчик відстані моделі GP2Y0A51SK0F, який є найбільш доступним рішенням серед аналогів, які слабо залежать від природного освітлення зони сканування.

Як силові компоненти використали 2 крокових двигуна Nema17, що мають оптимальну точність для 3D сканера і мають хороші ходові якості. Як драйвер для двигунів використали 2 мікросхеми EasyDriver A3967, які дозволяють організувати мікрокроковий режим роботи для крокових двигунів. Пристрій виводу – адаптер карт пам'яті формату microSD з інтерфейсом SPI [7]. Цей інтерфейс дозволяє організувати передачу даних синхронізовано із загальним тактовим сигналом, що генерується провідним пристроєм (мікроконтролером). Даний пристрій, своєю чергою, синхронізує отримання бітової послідовності з тактовим сигналом. Через адаптер пам'яті на SD карту здійснюється запис текстового файлу з розширенням .txt в який заносяться розраховані програмно відліки відсканованого об'єкта у форматі тривимірних координат X, Y, Z.

Як пристрій управління застосовується мікроконтролерний модуль Arduino Pro Micro. Даний мікроконтролер має прості апаратні і програмні інтерфейси, а також має гнучку швидкість обробки даних. Він володіє необхідним набором портів вводу/виводу. Мікроконтролер має компактний форм-фактор, 24 контакти і перетворювач напруги, який здатний по піну RAW, приймати напругу в діапазоні 6-18 В.

Пристрій керування буде приймати дані про відстань з інфрачервоного далекоміра, аналізувати, розраховувати координати хмари точок (відліки) за геометрією сканованого об'єкта, після чого створювати текстовий файл з розширенням .txt на SD карті, в який будуть заноситись отримані відліки. У той же час мікроконтролер посылатиме сигнали управління на крокові двигуни через драйвери, синхронізуючи цим процес сканування з пересуванням далекоміра по висоті заготовки (по висоті сканованої деталі).

Блок живлення системи використали звичайний зарядний пристрій ROBITON (зазвичай використовується для зарядки ноутбуків) з номіналом 12 вольт, який подає поточне значення напруги на драйвери крокових двигунів, а також здійснює живлення всієї схеми та її компонентів загалом.

2.2 Розробка електричної принципової схеми

Після вибору елементів схеми, на основі складеної структурної схеми та певних електричних параметрів пристрою, розробили електричну схему принципову 3D сканера (рисунок 2.2).

Схема зібрана на мікроконтролері DD2, який керує роботою двох крокових двигунів M2, M3, за допомогою подачі керуючих імпульсів на драйвери DD3, DD4. Іншим з'єднанням мікроконтролер DD2 приймає та перераховує дані, одержувані з оптичного інфрачервоного далекоміра DA1, а потім записує перетворені дані через адаптер карт пам'яті microSD DD1 на саму карту [7]. Драйвери крокових двигунів DD3, DD4 живляться від зарядного пристрою через вхід приймає від 6 до 30 В.

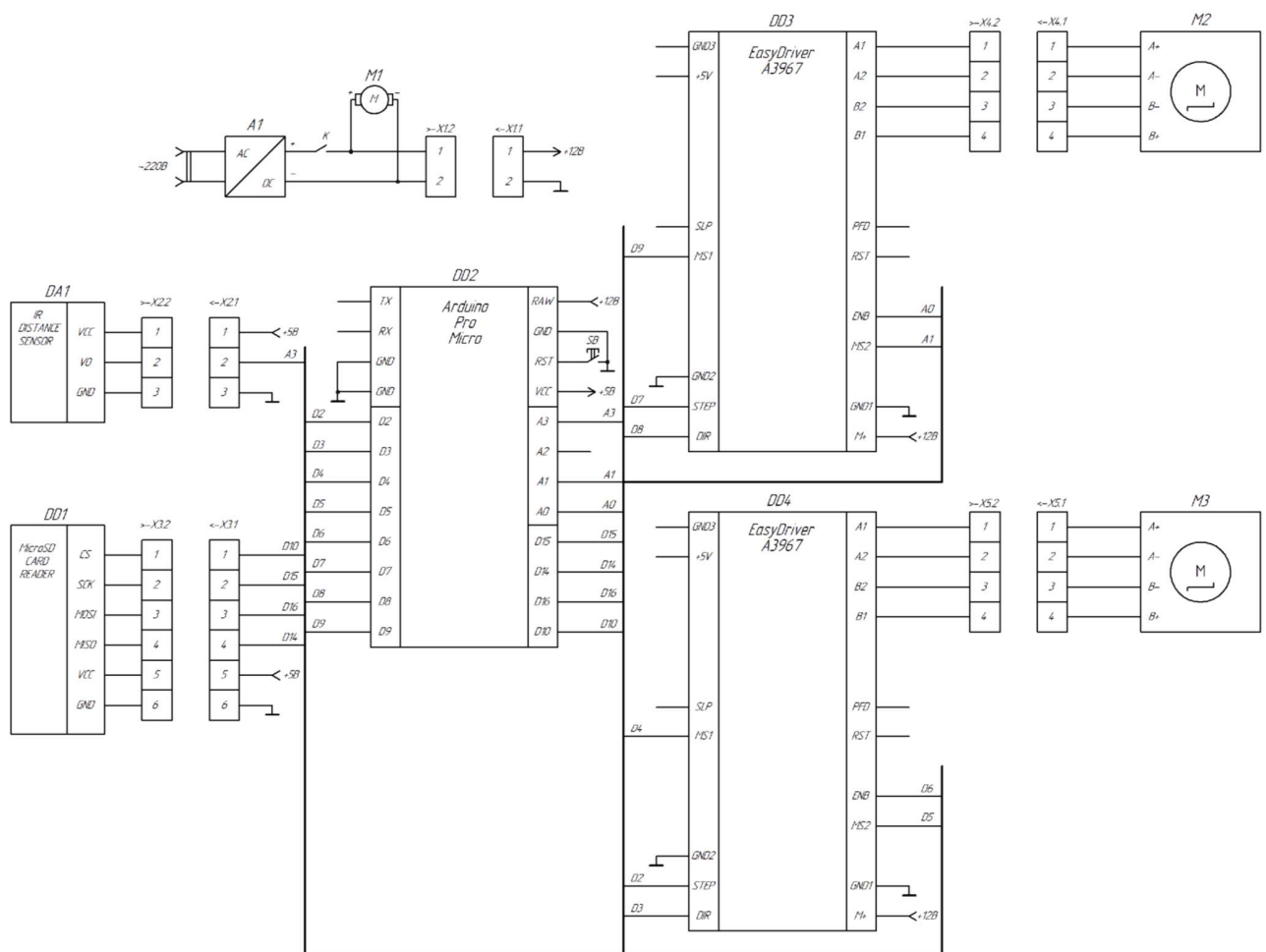


Рисунок 2.2 – Електрична принципова схема 3D сканера

Живлення схеми здійснюється через зарядний пристрій А1, який перетворює напругу 220 В з мережі змінної напруги в необхідні +12 В для живлення схеми. У розрив між зарядним пристроєм А1 та гніздом Х1.2 встановлено ключ (вимикач) К для замикання/розмикання ланцюга. Паралельно до живлення приєднується вентилятор М1 для охолодження електроніки. Також є кнопка скидання SB, яка виконує скидання всього циклу роботи пристрою. Живлення +5 В, яке подаються на інфрачервоний далекомір DA1 і адаптер карт пам'яті microSD DD1, здійснюється при перетворенні, вхідної напруги 12 В на пін RAW через вбудований регулятор напруги. Перелік елементів, що входять до електричної принципової схеми наведено у додатках.

2.3 Розробка силової частини схеми

Силова частина входить в електричну схему, яка наведена на рисунку 2.3. Вона включає в себе зарядний пристрій А1, який подає напругу +12 В на драйвери крокових двигунів DD3, DD4, які по проводах з'єднуються з кроковими двигунами М2, М3 через роз'єми Х4, Х5. Дана частина схеми розрахована на перетворення та подачу напруги, що надходить з блоку живлення на силові органи пристрою (крокові двигуни) через драйвери керування. Цей процес відбувається при отриманні сигналу управління, який надходить, в свою чергу, з логічної частини пристрою (мікроконтролера Arduino Pro Micro) на безпосередньо силову частину контролера [1].

Першим з компонентів, який входить до силової частини електричної схеми пристрою (рисунок 2.2) є драйвер крокового двигуна EasyDriver A3967. Він представлений відповідно на рисунку 2.3.

Драйвер призначений для управління біполярним кроковим двигуном з підтримкою «мікрокроку» і базується на мікросхемі A3967.

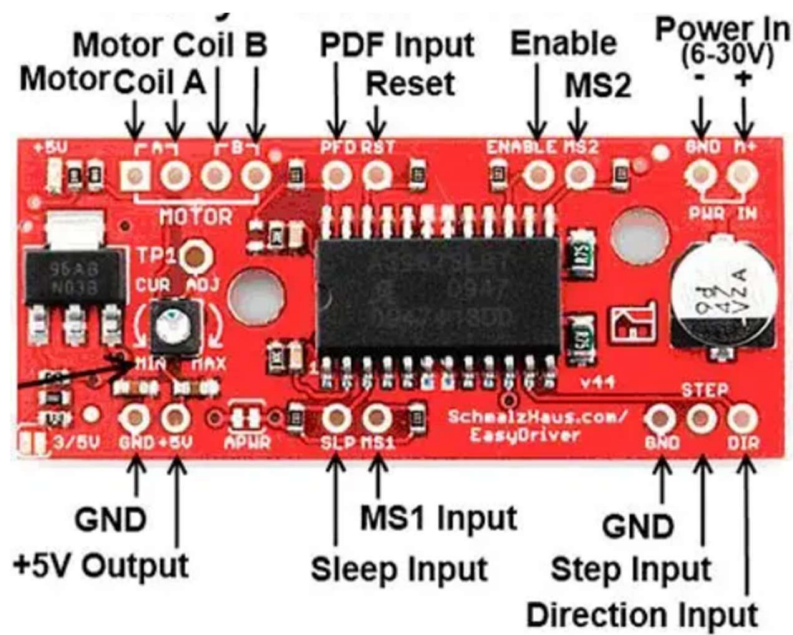


Рисунок 2.3 – Драйвер крокового двигуна EasyDriver A3967

Драйвер має такі виходи [1]:

MOTOR та виходи A та B – Підключення обмоток крокового двигуна (A+A-B+B-).

PFD вхід – швидкість зростання ШІМ (широтно-імпульсна модуляція);

RST – скидання драйвера, при низькому рівні скидає внутрішній транслятор і відключає всі вихідні драйвери;

ENABLE – за низького рівня відключаються всі виходи драйвера;

MS1 та MS2 – керування мікрокроковим режимом. За замовчуванням входи притягнуті до живлення та виставлено крок 1/8. Для встановлення повного кроку, на обидва входи потрібно подати низький рівень, для півкроку лише на MS2, для 1/4 кроку лише на MS1. (Повний крок (0,0), півкрок (1,0), крок 1/4 (0,1) та крок 1/8 (1,1));

PWR IN та вхід M+ – напруга живлення драйвера та моторів. Також ця напруга подається на стабілізатор LM317 для живлення логічної частини мікросхеми;

+5V – вихід напруги зі стабілізатора LM317, яка використовується для живлення Arduino;

SLP – режим сну, якщо подати низький рівень, буде вимкнено внутрішню схему для мінімізації споживання енергії;

STEP – крок, що задається при переході з низького рівня на високий, тоді драйвер робить один крок або мікрокрок у мікрокроковому режимі;

DIR – стан входу (високий/низький) визначає напрямок обертання двигуна.

GND – Земля, всі землі пов'язані.

Управління кроковим двигуном здійснюється встановленням режиму для його роботи у повнокроковому та мікрокроковому режимах.

У повнокроковому режимі драйвер живить обмотки двигуна повним струмом, а напрямок струму в обмотках двигуна змінюється з кожним кроком. Цей режим вважається штатним режимом роботи двигуна. Головна перевага – простота реалізації. Як недолік, двигун більш схильний до вібрацій і резонує на низьких швидкостях. У мікрокроковому режимі відбувається розподіл кроку (наприклад, 1/8, 1/4, 1/2), з кожним кроком обмотки заживлені не повним струмом, а змінюваним рівнем за синусоїдальним законом. У цьому режимі вал фіксується у проміжних положеннях між кроками, що дозволяє збільшити кількість кроків та точність позиціонування валу двигуна. Це дозволяє зменшити вібрацію двигуна, особливо на низьких швидкостях. У даній роботі стаціонарного (повнокрокового) режиму цілком достатньо реалізації оптимального обертання заготовки.

Драйвер EasyDriver A3967 керує кроковим двигуном Nema 17HS4401, який є біполярним двигуном з високим крутним моментом. Цей двигун здатний повертатися на задану кількість кроків. За один крок здійснює оборот на $1,8^\circ$, відповідно повний оберт на 360° здійснює за 200 кроків. Кроковий двигун Nema 17HS4401 наведено на рисунку 2.4 а. Біполярний двигун має дві обмотки, по одній на кожну фазу, на яких полярності змінюється драйвером для зміни напрямку магнітного поля. Відповідно, від двигуна відходять чотири дроти від обмоток

крокового двигуна (рисунок 2.4 б). Основні параметри крокового двигуна Nema 17HS4401 наведені в [7].

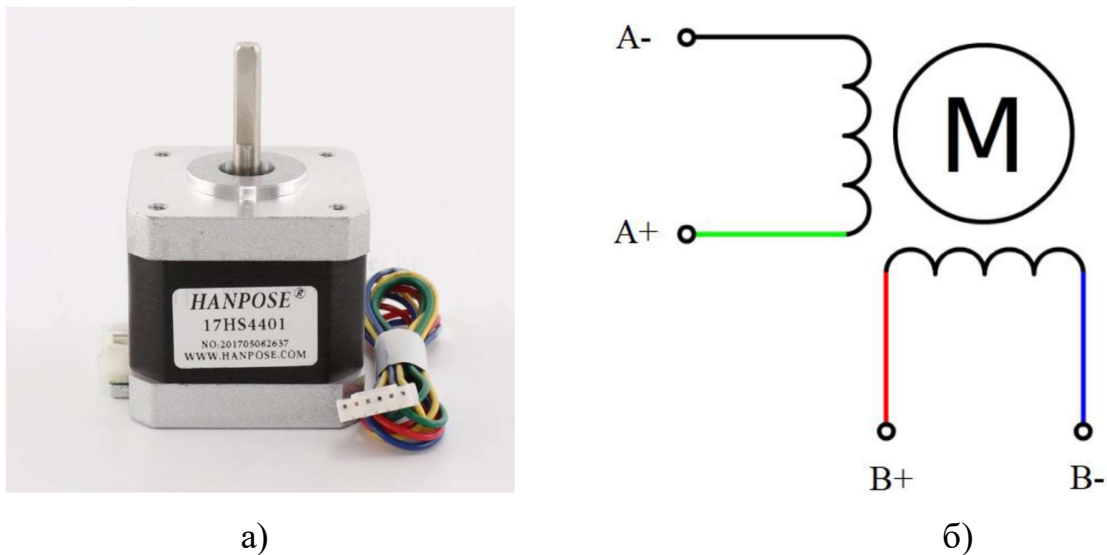


Рисунок 2.4 – Кроковий двигун Nema 17HS4401 (а) та обмотки (б)

Згідно рисунка 2.4 б полярності обмоток крокового двигуна, де кожен цикл(крок) дотримується певна полярність, тобто. на виходах обмоток є знак полярності плюс або мінус.

2.4 Розробка системи керування

Система управління також входить в електричну схему. Вона складається з керуючого пристрою DD2 (мікроконтролера Arduino Pro Micro), пристрою сканування DA1 (інфрачервоного далекоміра) та пристрою отримання DD1 (адаптера карт пам'яті формату microSD). Основою системи управління слугує плата Arduino Pro Micro на мікроконтролері ATmega32U4, що програмується завдяки вбудованому завантажувачу, який дозволяє завантажувати код у плату без використання зовнішнього програматора [1]. Живлення плати можна проводити

micro USB з напругою 5 В. Також на платі передбачено регулятор напруги, який може приймати напругу до 18 В. Даною напругою здійснюється живлення схеми по піну RAW. Модуль Arduino Pro Micro представлено на рисунку 2.5.

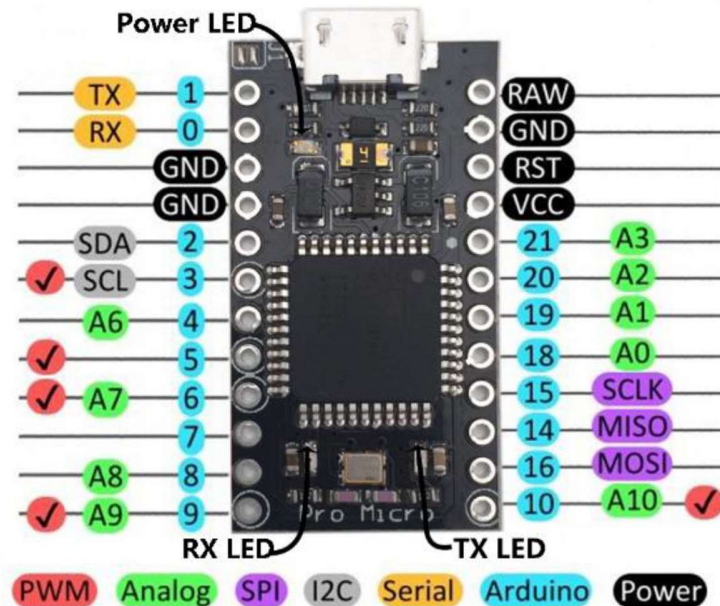


Рисунок 2.5 – Модуль Arduino Pro Micro

До заданих пінів мікроконтролера підводяться периферійні елементи, згідно з заданою схемою підключення. Суть процесу управління ґрунтується на подачі імпульсів, які призводять до виконання до тієї чи іншої логічної операції для здійснення роботи якогось функціонального блоку (наприклад, крокового двигуна, через драйвер). Управління органами управління (кроковими двигунами) в момент сканування відбувається за допомогою подачі сигналів управління з ATmega32U4 мікроконтролера. За його допомогою можна організувати синхронну подачу керуючих імпульсів на крокові двигуни і паралельно зчитувати дані зі скануючого пристрою (інфрачервоного далекоміра).

Скануючий пристрій представлений інфрачервоним датчиком відстані Sharp GP2Y0A51SK0F (рисунок 2.6), з вихідною аналоговою напругою, який працює на методі тріангуляції та розрахований на вимірювання відстані в діапазоні 20-150 мм.

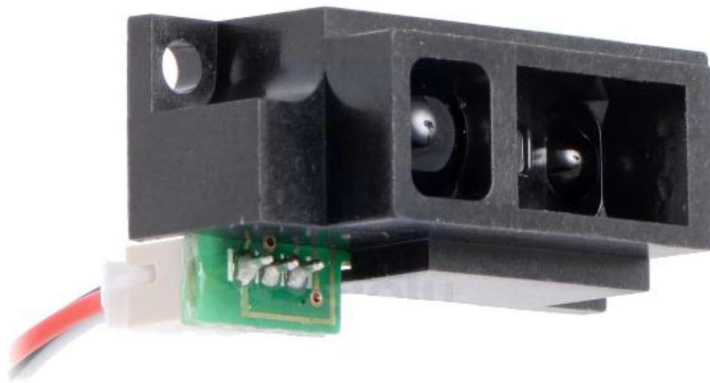


Рисунок 2.6 – інфрачервоний датчик відстані Sharp GP2Y0A51SK0F

Цей інфрачервоний датчик є більш економічно вигідним рішенням порівняно з ультразвуковим далекоміром, а також забезпечує кращу швидкодію порівняно з іншими інфрачервоними датчиками. Зв'язок з мікроконтролером реалізується за рахунок з'єднання аналогового виходу з аналого-цифровим перетворювачем для вимірювання значень.

Робота даного датчика ґрунтується на методі триангуляції. Даний метод менш податливий до впливу з боку інтерференції випромінювання, а також мало залежить від відображення від поверхонь, які можуть бути з різних матеріалів і мати різний колір. Конструктивно ІЧ датчик відстані Sharp складається з випромінювача – інфрачервоного світлодіода (LED) з лінзою, а також приймача, виконаного на позиційно-чутливому фотоелементі (Position-Sensitive Detector, PSD) з лінзою. Фізичний сенс роботи датчика полягають у тому, що випромінювач випромінює світловий промінь на об'єкт, який відбивається від нього і потрапляє на приймач, проходячи через його лінзу. На рисунку 2.7 наведено схематично шлях відбитого променя на різних відстанях.

Даний рисунок пояснює метод визначення відстані за допомогою ІЧ датчика. Відстань до об'єкта безпосередньо залежить від кут відбиття від нього провідності в напругу, яка оцифровується аналого-цифровим перетворювачем мікроконтролера, після чого обчислюється відстань до об'єкта.

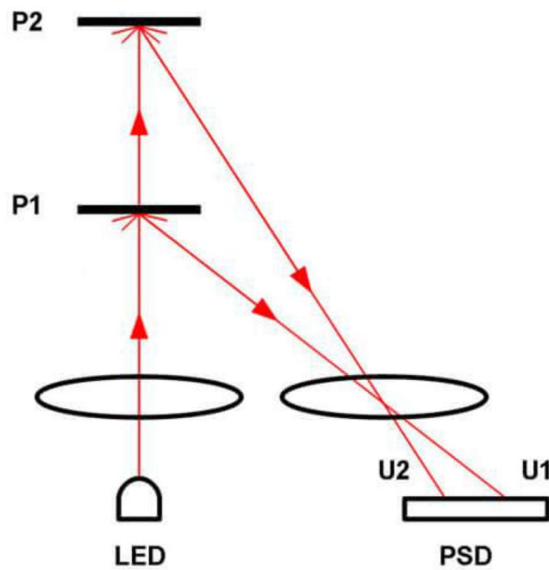


Рисунок 2.7 – Схема визначення відстані за допомогою ІЧ датчика

Пристроєм отримання даних є адаптер карт пам'яті microSD з інтерфейсом SPI (Serial Peripheral Interface) для Arduino (рисунок 2.8 а). Даний модуль дозволяє підключити карту формату microSD до Arduino та використовувати її для логування показників з інфрачервоного далекоміра, зберігання конфігураційного файлу з даними у перетвореній формі.

Технічно інтерфейс SPI є послідовним синхронним стандартом передачі даних призначеним для забезпечення з'єднання мікроконтролера і периферії (рисунок 2.8 б).

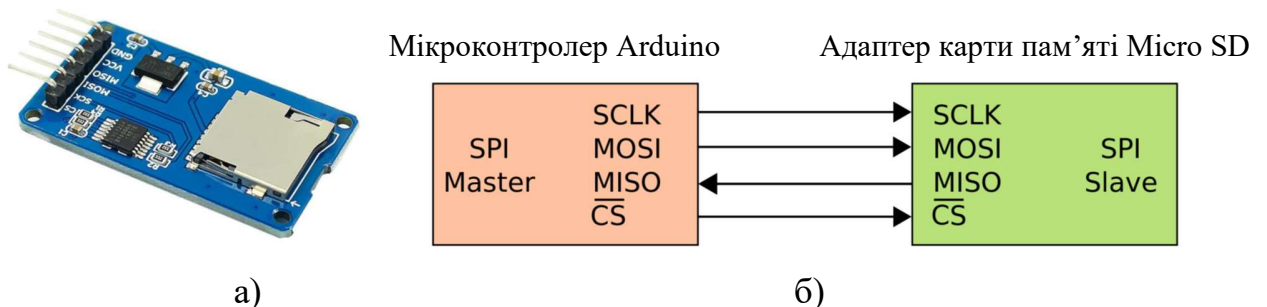


Рисунок 2.8 – Адаптер карт пам'яті microSD з інтерфейсом SPI (а) та схема поєднання пристрів інтерфейсу SPI

2.5 Проектування друкованої плати

Для виготовлення 3D сканера і спрощення зв'язку між складовими його компонентами ми розробили двошарову розвідну друковану плату. Вона виготовляється із текстоліту з провідниковими доріжками і з отворами для монтажу елементів кріплення. Розведення друкованої плати зроблено у програмному пакеті EAGLE. Першим кроком за допомогою вбудованого редактора схем складено електричну схему пристрою, поєднавши між собою функціональні елементи, які взяли із вбудованої бібліотеки елементів (рисунок 2.9)

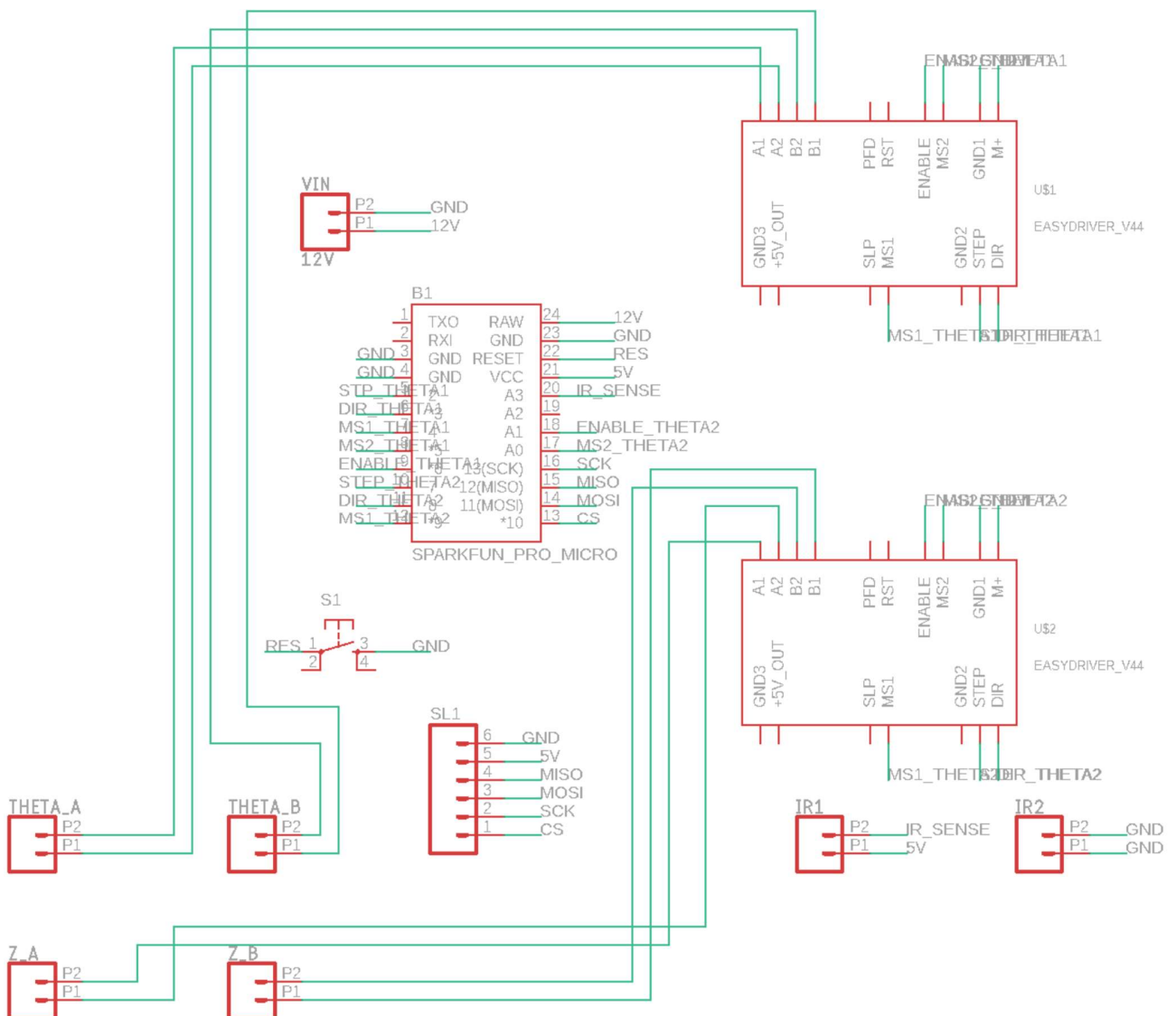


Рисунок 2.9 – Електрична схема із блоків у EAGLE

Далі переводимо схему в режим створення друкованих плат, після чого відобразилися корпуси елементів з лініями зв'язку, які потім вирівнюються один відносно одного в межах заданої плати (рисунок 2.10).

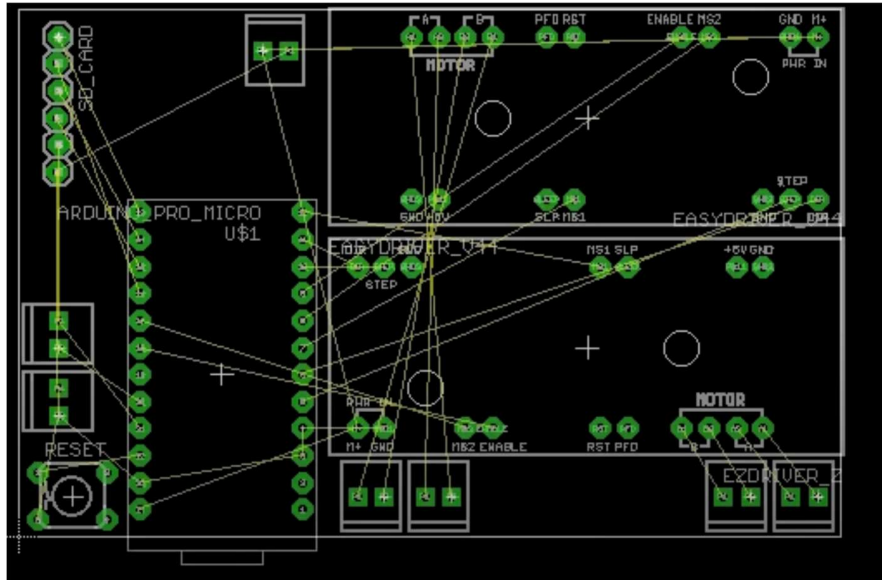


Рисунок 2.10 – Друкована плата з корпусами елементів у EAGLE

Після цього виконується автотрасування друкованої плати, визначивши розташування провідників на друкованій платі (рисунок 2.11).

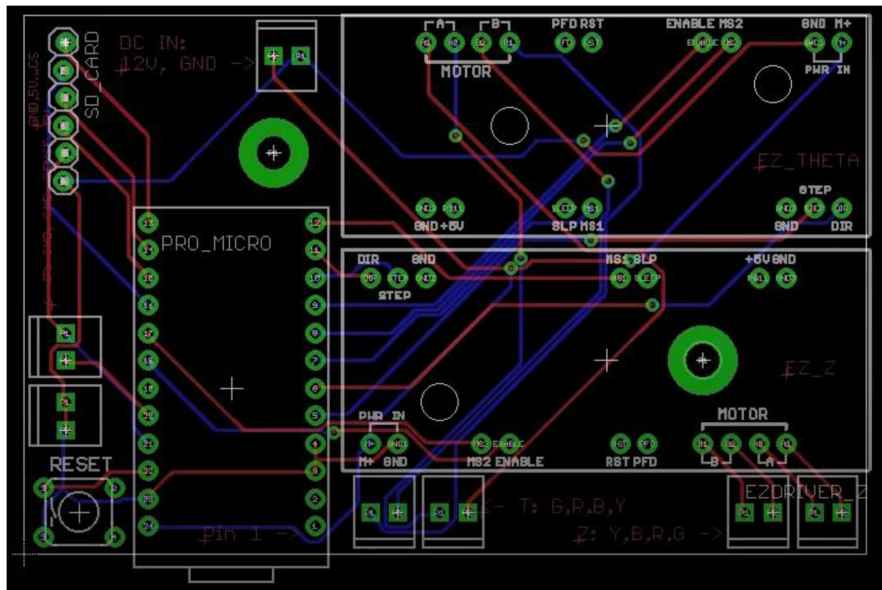


Рисунок 2.11 – Друкована плата після автотрасування в EAGLE

Після завершення процесу розведення друкованої плати в EAGLE, отриманий результат зберігаємо у файл для оформлення креслення в Autodesk AutoCAD (рисунок 2.12, 2.13).

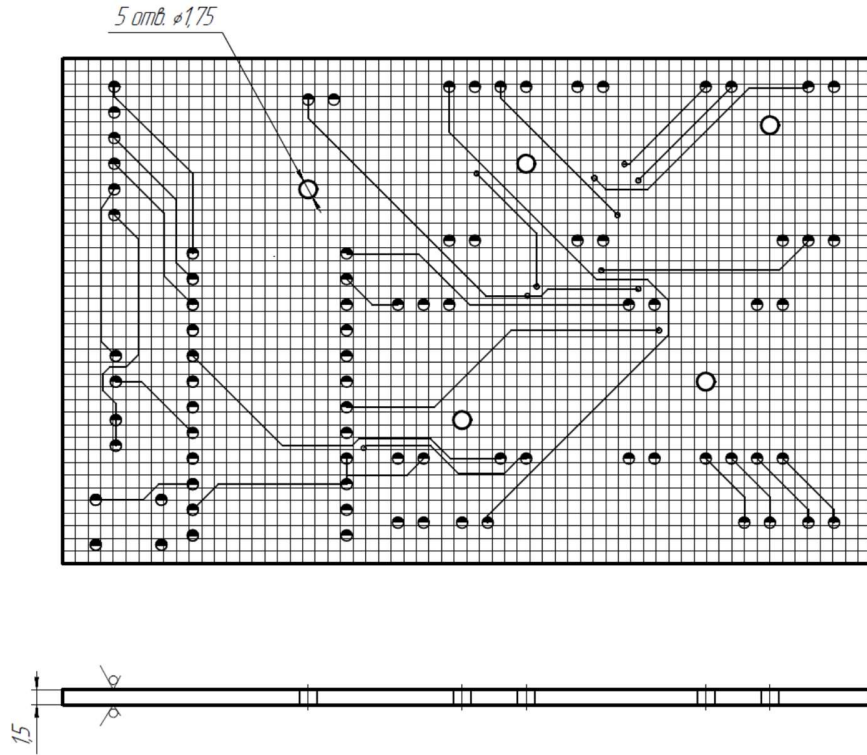


Рисунок 2.11 – Вигляд друкованої плати з одного боку

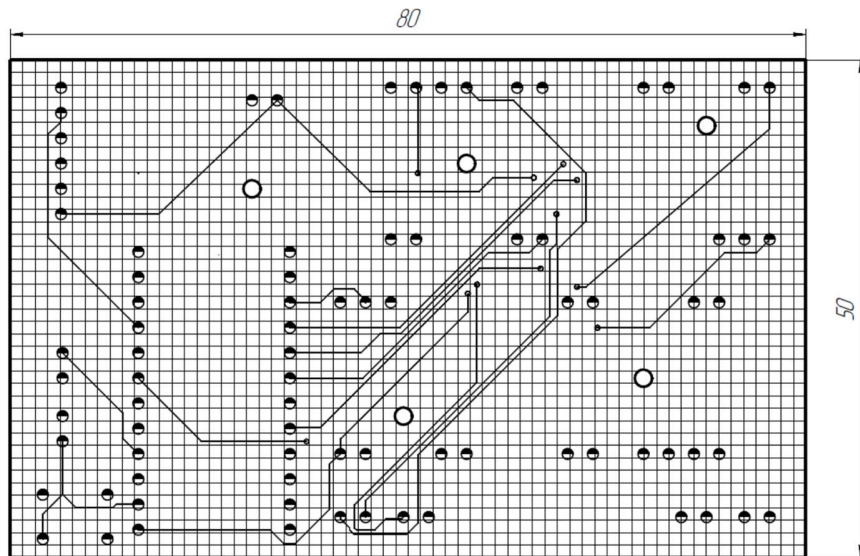


Рисунок 2.13 – Вигляд друкованої плати з другої сторони

Плату виготовлено комбінованим способом, крок координатної сітки – 1,25 мм., мінімальна ширина провідника 0,8 мм., мінімальна відстань між провідниками 0,3 мм. Шорсткість $Rz = 40/$

Висновки до другого розділу

Таким чином, в ході розробки схемотехнічної частини 3Dсканера було складено структурну на основі якої за якою вдалося створити електричну принципову схему. Вона складається з силової та керуючої частини. Також з метою спрощення з'єднання компонентів схеми між собою була розроблена друкована плата.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Моделювання каркаса 3D сканера

Для розробленої електричної схеми пристрою необхідно було спроектувати оптимальне конструктивне рішення для її працездатності, виходячи з раніше обраної концепції та його принципу роботи. Як інструмент для моделювання каркаса 3D сканера, скористалися CAD (Computer-Aided Design) програмою Autodesk PowerShape [11].

Розробка конструкції пристрою полягала моделюванні оптимальних механічних частин для повного складання та злагодженої роботи пристрою в кінцевому підсумку. Користуючись методами каркасного та поверхневого моделювання, були розроблені елементи каркасу 3D сканера, загальний вигляд яких наведено на рисунку 3.1.

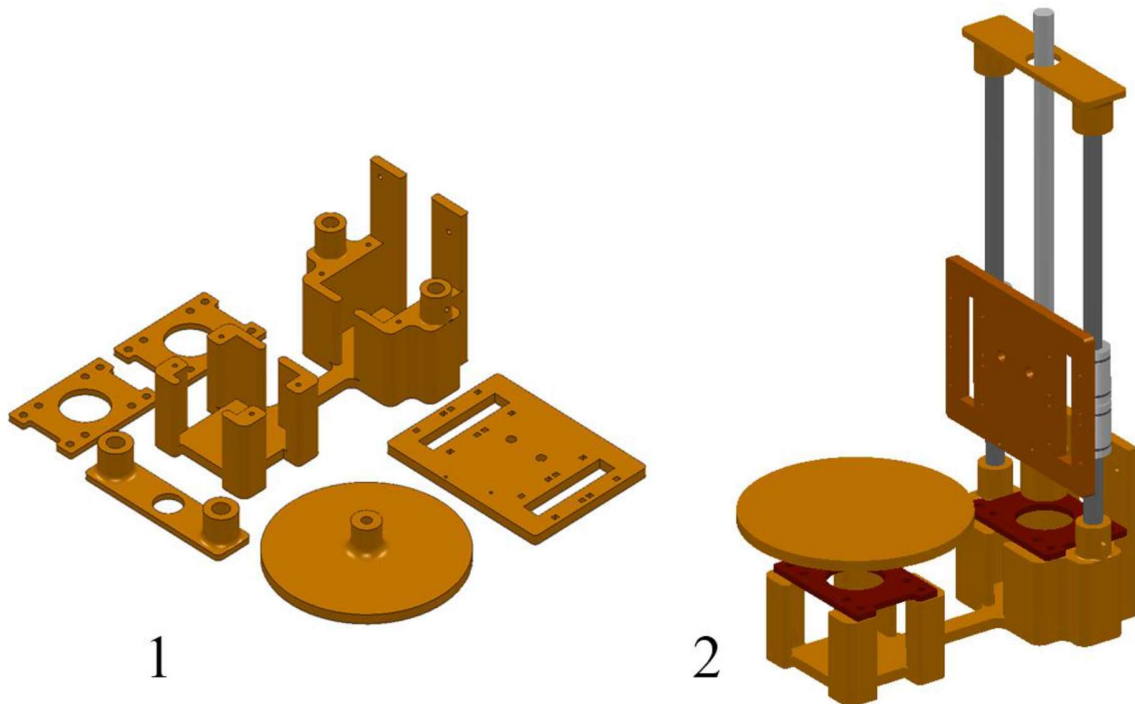


Рисунок 3.1 – Змодельований каркас в PowerShape:

1 – частини каркасу; 2 – каркас у зібраному вигляді

Каркас 3D сканера складається з наступних конструктивних елементів:

- 1) бази з отворами для крокових двигунів та отворами для встановлення напрямних стрижнів;
- 2) стіл з отвором під з'єднання через вал крокового двигуна;
- 3) двох опорних стрижнів з довжиною 200 мм і діаметром 8 мм;
- 4) кришки з отворами під опорні стрижні;
- 5) скануючої платформи з отворами під кріплення до різьбової осі Z та інфрачервоного далекоміра, а також кріплення під стяжки;
- 6) різьбової осі Z довжиною 8 мм на 215 мм з кронштейном під кріплення скануючої платформи. По цій осі здійснюватиметься пересування скануючого сенсора.
- 7) підшипників ковзання діаметром 8 мм, які слугують напрямними механізму пересування по осі Z.
- 8) покришок з отворами під кріплення на крокові двигуни.

Для друку на 3D принтері експортував спроектовані моделі частин каркасу у форматі STL із CAD системи до слайсера Simplify3D – програму, яка розбиває тривимірну модель на шари, тим самим готуючи її до друку на 3D-принтері (рисунок 3.2).

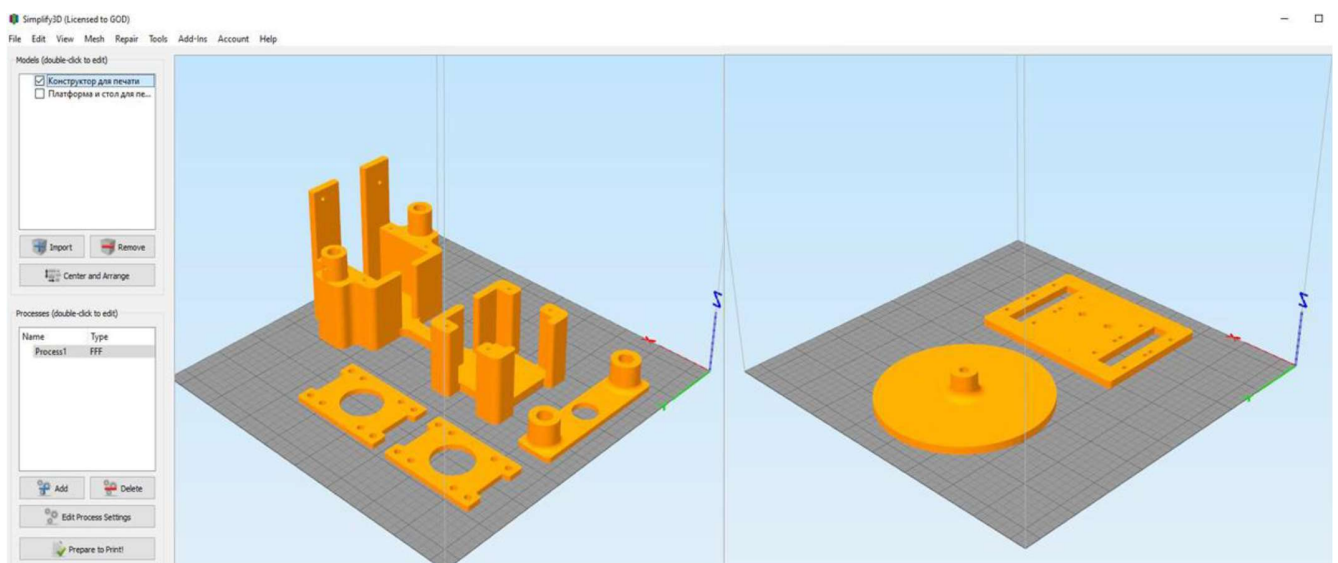


Рисунок 3.2 – Підготовка основних частин каркасу до друку на 3D принтері

У слайсері Simplify3D 3D-моделі деталей програмно підготовлено до друку, задавши необхідні параметри 3D друку: ширину екструзії, тобто, величину вихідного матеріалу (пластику) з екструдера, а також швидкість переміщення осей та температури підігріву столу, після чого створено управляючу програму на мові G-Code (стандартна мовою для ЧПУ систем). Візуально результат виведення керуючої програми представлений набором віртуальних траєкторій проходу, розрахованих за 3D моделями частин каркасу (рисунок 3.3).

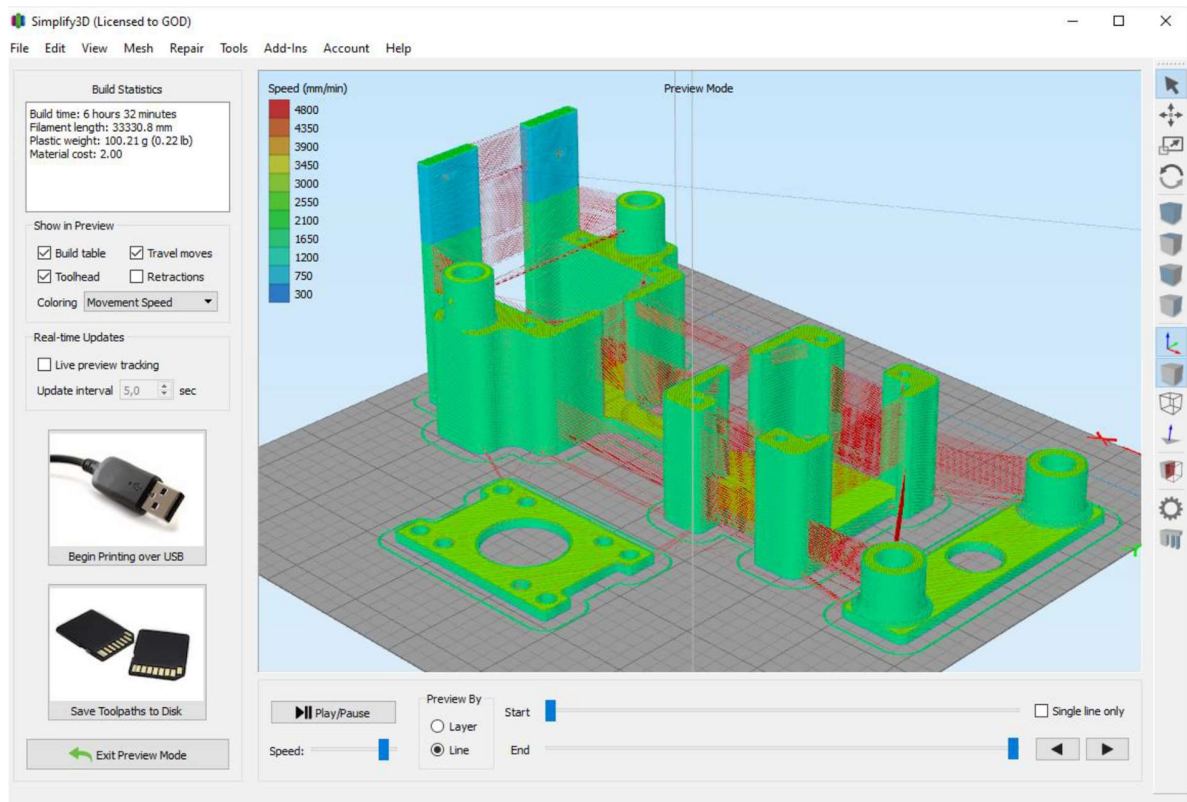


Рисунок 3.3 – Результат виведення керуючої програми для друку каркасу

Аналогічним чином виведено керуючі програми для інших елементів спроектованого каркасу (поворотного столу та скануючої платформи). Після друку на 3D принтері заданих частин каркасу та складання їх разом з електричними та механічними компонентами пристрою вийшов наступний результат (рисунок 3.4).

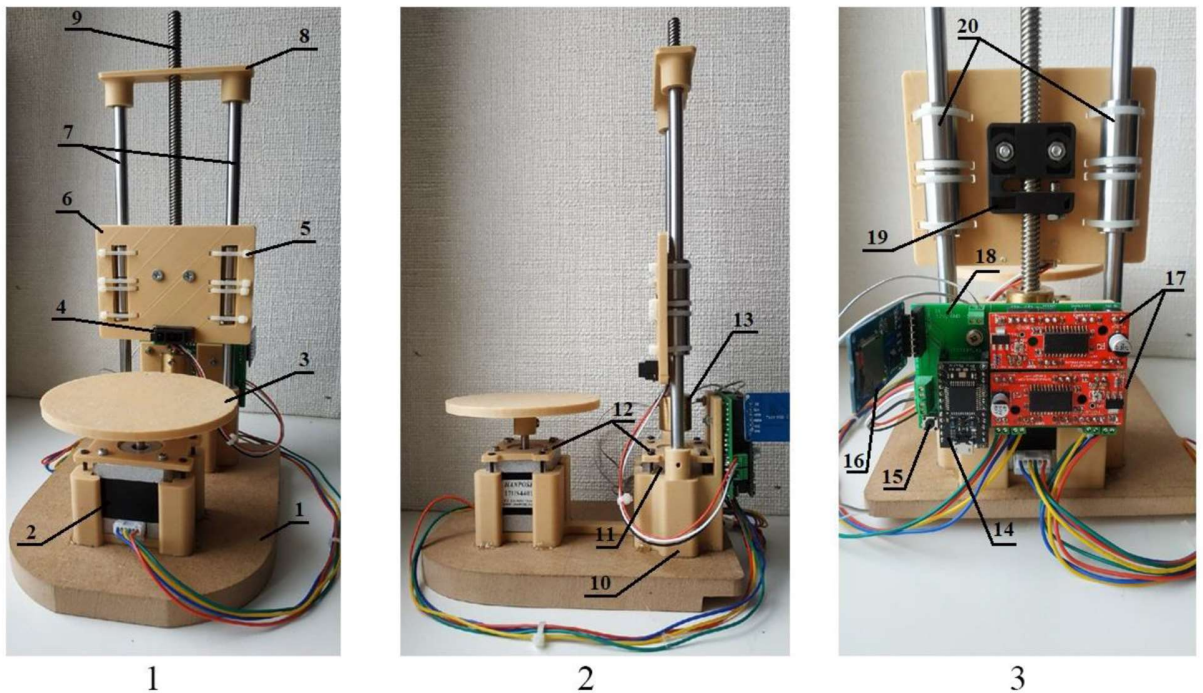


Рисунок 3.4 – Каркас 3D сканера у зібраному вигляді:

1 – вигляд спереду; 2 – вигляд збоку; 3 – вигляд ззаду

Каркас 3D сканера складається з наступних елементів: вся несуча конструкція 10, яка являє собою основу з місцями для розміщення електричних і механічних компонентів пристрою, розташовується на підкладці з бруска деревини 1. На кроковий двигун поворотного столу 2 встановлюється сам стіл 3, після чого підтягується болтом до валу двигуна. Інфрачервоний датчик відстані 4 кріпиться на гвинтах до скануючої платформи 6, яка кріпиться завдяки кронштейну 19 до різьбової осі Z 9. У кронштейні також передбачено отвір з різьбленням, по якому скануюча платформа 6 крутиться по осі Z. Для стабілізації переміщення нею передбачені 2 опорні стрижні 7 з довжиною 200 мм і діаметром 8 мм, на які монтується скануюча платформа 6, через напрямним опорам ковзання 20. Вони затягуються стяжками 5 до скануючої платформи через передбачені отвори.

Переміщення скануючої платформи здійснюється завдяки кроковому двигуну осі Z 11, який передає обертальний рух різьбової осі через з'єднувач валу з двома гвинтами 13. Для фіксації крокових двигунів на конструкції передбачені кришки з отворами під гвинти кріплення 12. Для обмеження руху планки сканування є кінцевий ковпак 8 із заглибленнями під опорні стрижні. Вся електроніка розміщується на розвідній друкованій платі 18, яка кріпиться позаду конструкції.

До роз'ємів плати підключаються електронні модулі: модуль Arduino Pro Micro 14, адаптер карт пам'яті MicroSD 16, драйвер крокових двигунів 17, а також кнопка скидання 15. До клемних роз'ємів підводяться дроти від крокових двигунів 2, 11 та інфрачервоного датчика відстані 4.

3.2. Створення корпусу

Для каркаса було вирішено розробити переносний корпус для спрощення переміщення конструкції, а також для ізоляції 3D сканера під час сканування. Розроблений корпус наведено на рисунку 3.5.

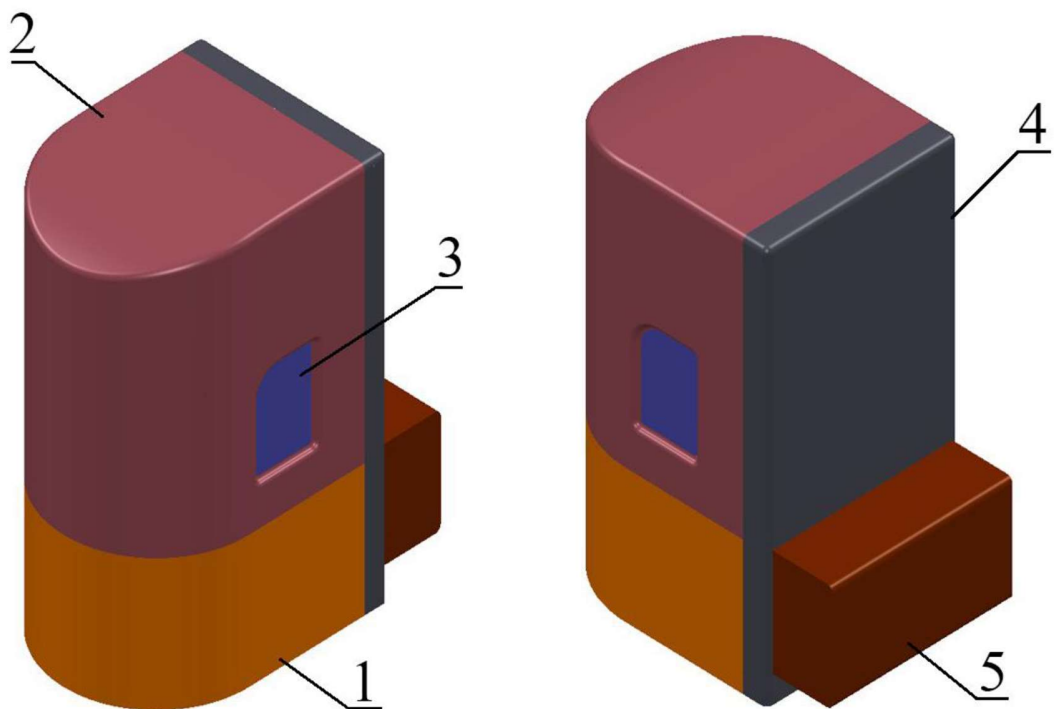


Рисунок 3.5 – Змодельований корпус 3D сканера у PowerShape

Корпус конструктивно складається з основи 1, всередині якого буде розміщуватися сам 3D сканер, кришки 2 для ізоляції робочого простору, 3 – вікна для спостереження за процесом сканування, 4 – кришки вертикальної для жорсткості конструкції, 5 – кришки під електроніку.

Після безпосереднього процесу проектування та моделювання корпусу пристрою отримали файл з 3D моделлю, яку в якості математичної моделі використовували для написання керуючих програм під обробку на верстаті з ЧПУ за допомогою спеціальної САМ програми PowerMill [14, 15]. Отримані програми в PowerMill експортували у корінь проекту з роздільною здатністю .cut і завантажили через постпроцесор ЧПУ, тобто модуль, який перетворює створені траєкторії в керуючій програмі на мові G-code (рисунок 3.6).

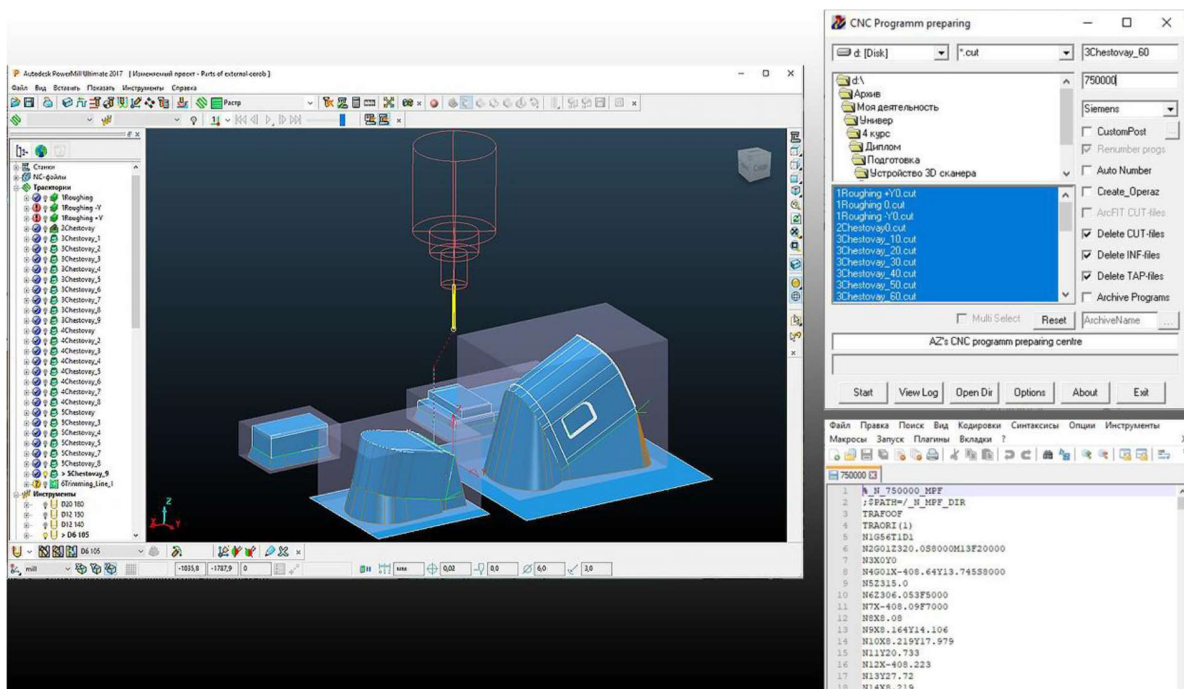


Рисунок 3.6 – Процес перетворення траєкторій на управляючі програми мовою в G-code

За даними управляючими програмами, написаними мовою G-code, будуть виготовлені частини корпусу на ЧПУ верстаті.

На рисунку 3.7 зображено проект 3D сканера в зібраному вигляді в 3 ракурсах. На 1-му представлений каркас, безпосередньо розміщений у корпусі, на 2-му корпус з встановленою кришкою, а також 3-й ракурс з видом на кришку під електроніку, в якій виділено місця під вкл/викл, вентилятор з решіткою для охолодження системи, а також отвір під карту SD і штекер для живлення 3D сканера. Після його складання було написання код програми для керування логікою роботи пристрою 3D сканера.

Висновки до третього розділу

Таким чином, спираючись на раніше обрану концепцію пристрою та з урахуванням розташування його функціональних компонентів, була розроблена конструкція пристрою, спроектована та реалізована несуча частина (каркас), в якій вдалося розмістити всі електричні компоненти, а також переносний корпус під його оснащення.

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ 3D СКАНЕРА

4.1 Написання коду керування логікою роботи пристрою

Програму управління логікою роботи 3D сканера реалізовано у віртуальному середовищі Arduino IDE мовою програмування на основі C/C++. Таким чином, в результаті розробки коду були написані інструкції для циклу роботи 3D сканера з можливістю завдання параметрів сканування. Наприклад, одним з таких параметрів виступає крок, який задається кроковому двигунові для обертання скануючої платформи по осі Z, тобто. задається значення 0,5 мм, яке враховується при розрахунку загальної кількості кроків, а потім використовується в циклі, як елемент умови для обертання крокового двигуна осі Z. При зменшенні даного параметра точність сканів, які отримуються, збільшується, внаслідок зменшення відстані між шарами сканування.

У додатках представлена програма, що повністю відображає роботу 3D сканера з коментарями про її роботу. Для наочного пояснення ключових етапів роботи цієї програми було складено блок схеми алгоритмів (БСА), які також винесено в додатки магістерської роботи.

Спочатку підключаємо бібліотеку SPI для роботи з інтерфейсом SPI, а також бібліотеку SD для здійснення зчитування та запису на SD карту. Також визначаємо змінні параметри сканування (наприклад, висоту сканування `int z_axis_height = 9`) і константи під виходи драйверів і вносяться розрахункові змінні. Потім викликається функція «`void setup (...)`», в якій задаються початкові параметри роботи 3D сканера, такі як швидкість обміну даними через послідовний порт, встановлюється тип джерела напруги, яка ініціалізується з бібліотеки та встановлюються режими роботи входів.

Згідно формули (4.1) проводимо *Rad* розрахунок кута в радіанах з урахуванням кутового кроку двигуна (1,8 градуса), а також кількості кроків *p* для повного обороту на 360°

$$Rad = \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \left(\frac{360}{p}\right) = \left(\frac{3,1415926535}{180}\right) \cdot \left(\frac{360}{200}\right) = 0,0314 \quad (4.1)$$

де *p* = 200 – кількість кроків, які необхідно зробити двигуну поворотного столу, щоб зробити повний оберт.

Також розраховується згідно формули 4.2 кількість кроків по осі *Z*, яке необхідно зробити шляхом розподілу суми висоти шару по осі *Z* *z_layer*, загальної кількості кроків і кількості обертів для здійснення підйому на 1 см *lead_rot*.

$$Steps_Z = \left(\frac{z_layer + p + lead_rot}{10}\right) = \left(\frac{1 + 200 + 10}{10}\right) = 21,1 \quad (4.2)$$

де *z_layer* – задана висота шару по осі *Z*, з якою здійснюється підйом до заданої висоти;

p = 200 – кількість кроків для здійснення повного обороту;

lead_rot = 10 – кількість обертів для здійснення підйому на 1 см;

Функція «void setup ()» виконується один раз після запуску пристрою.

З викликом функції «void loop()» запускається основний цикл роботи 3D сканера. У циклі програми прописується логіка алгоритму, за якою він слідуватиме. Тут прописуються логічні операції зі змінними (порівняння, умови, лічильники), а також викликаються підпрограми, які виконують певні перетворення та обчислення. Внаслідок того, що основні операції програми роботи 3D сканера здійснюються в циклі і вони йдуть у певному порядку, виникає необхідність здійснювати даний цикл після кожного запуску роботи пристрою. Тому операції даного циклу слід проводити з використанням умовного оператора «if», а також операторів циклу «for» для повторення певних команд усередині заданого циклу, та «while» з виконанням операцій за умовою.

Відповідно на початку циклу, коли процес сканування запустився, ставимо умову: чи менша поточна координата Z заданої висоти по осі Z . Якщо результат – «істина», то входимо в цикл підрахунку кількості кроків, допоки не буде досягнуто кількість кутових кроків за повний оборот. Розглянемо ситуацію за 1 цикл роботи. Так, згідно з алгоритмом кроковий двигун спочатку повертає поворотний стіл із заготовкою на кутовий крок $1,8^\circ$, з яким обертається двигун у штатному режимі. Після чого задіюється підпрограма, відповідальна за визначення відстані до об'єкта `getDistance()`, у якій запускається лічильник кількості вимірів відстані до заданої величини, тобто відбувається зчитування показань аналогового входу датчика до заданої планки. Коли лічильник завершується, визначається середнє значення серед розраховуваних показань згідно формули 4.3.

$$\textit{senseDistance} = \textit{analog} / \textit{scan_amount} \quad (4.3)$$

де *analog* – сума всіх показань аналогового зчитування;

scan_amount – кількість вимірювань відстані.

Це середнє значення перетворюється з діапазону аналогового зчитування (0..1023) в діапазон напруг (0..3,3В) за допомогою математичної функції `mapFloat()` та формули 4.4.

$$\begin{aligned} \textit{senseVoltage} = \textit{mapFloat}(\textit{senseDistance}, 0.0, 1023.0, 0.0, 3.3) = \\ (\textit{senseDistance} - 0.0) \cdot (3.3 - 0.0) / (1023.0 - 0.0) + 0.0 \end{aligned} \quad (4.4)$$

де *senseDistance* – показання аналогового зчитування.

З метою коректного перерахунку у відстань перетворених показань з датчика, визначення калібрувального рівняння (рівняння полінома) за вихідною характеристикою даного датчику відбувається з технічної документації (винесено в додатки). Для його визначення знадобилося за вихідною характеристикою, яка має вигляд графіку залежності аналогової вихідної напруги від відстані до відбитого об'єкта, визначити значення напруги в передбаченому діапазоні вимірювальних відстаней (20-150 мм). Отримані значення зводимо в таблиці 4.1, співвідносячи вихідну напругу (V) з відстанню (мм).

Таблиця 4.1 – Співвідношення вихідної напруги (V) з відстанню (мм)

V (В)	2,08	1,7	1,35	1,05	0,92	0,8	0,75	0,65	0,58
D (мм)	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Для перетворення значень напруги, одержуваних після оцифровки АЦП, яка надходить з аналогових значень і переведення їх у відстань. Оцінити вихідну залежність можемо шляхом виведення рівняння полінома, тобто визначити коригуюче рівняння під визначення відстані датчиком в MATLAB для виведення графіка значень таблиці 4.1 виведено наступний результат (рисунок 4.1)

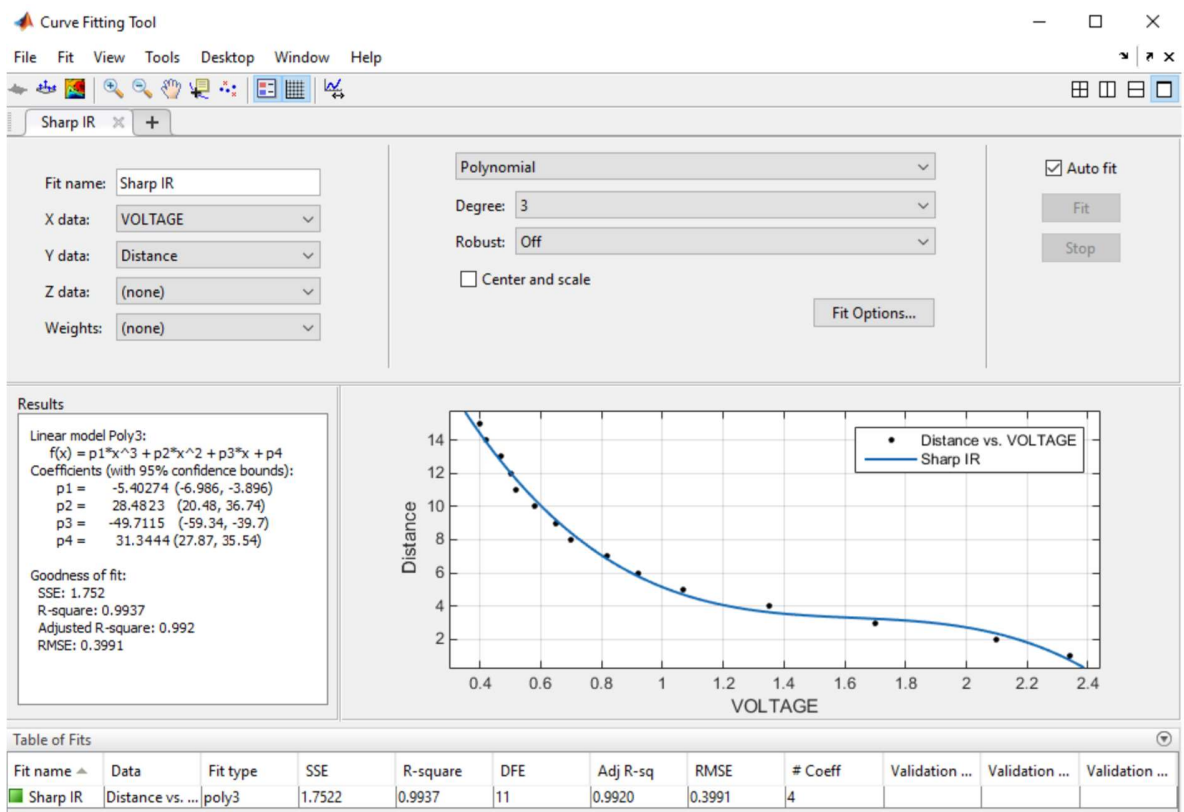


Рисунок 4.1 – Виведення рівняння полінома для перерахування напруги у відстань

Потім відбувається запис даних у форматі координат X, Y, Z на карту SD, завдяки підпрограмі `write_to_SD`. У ній спочатку генерується файл, потім відбувається його відкриття для зчитування та запису, і надалі ставиться умова його

відкриття. Якщо результат «істина» – здійснюємо запис, після чого закриваємо файл, з перевіркою збереження даних на карту SD.

В результаті оцінки залежності датчика відстані було визначено рівняння полінома, яке відповідає залежності відстані від вихідної напруги. Графічне пояснення виконаних математичних операцій проілюстровано на рисунку 4.2.

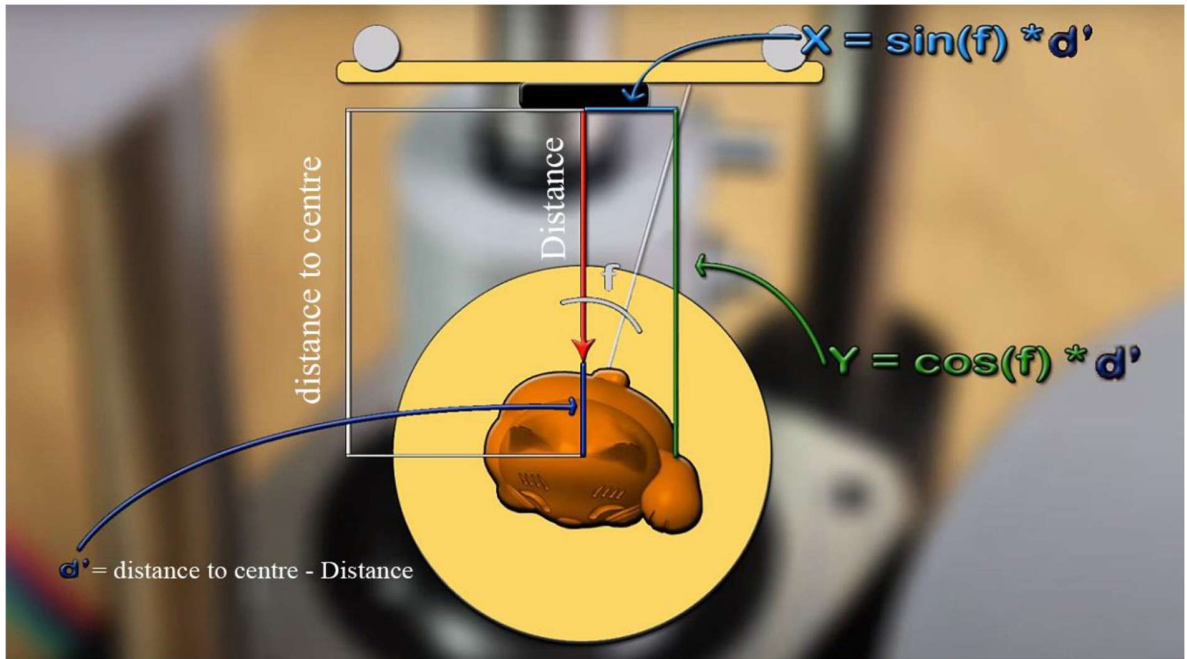


Рисунок 4.2 – Математична ілюстрація роботи коду

Коли циклі буде досягнуто кількість кутових кроків за повний оберт, значення кута скидається для наступного оберту. Далі переходимо до умови, чи менше циклів обертання підрахованої кількості кроків по осі Z. Якщо результат «істина», то запускаємо обертання осі Z праворуч за годинниковою стрілкою. Після чого збільшуємо цикл обертання на 1 і за новим ставимо умову. Коли результат умови – «хиба», то збільшуємо координату Z на задану висоту шару, після чого скидаємо цикл обертання осі Z.

В кінці роботи програми, коли поточна координата Z стане більше заданої висоти по осі Z, робимо затримку, після чого ставимо умову, аналогічно до підйому

на задану висоту. Тільки в цьому випадку відбувається обертання осі Z вліво, на зроблену кількість кроків вниз у вихідне положення до початку циклу. Після цього зупиняємо двигуни – процес сканування вважатимуться завершеним.

4.2 Налагодження коду під 3D сканер

Також є можливість для власної модернізації та доопрацювання алгоритмів роботи, за допомогою встановлення та введення необхідних параметрів у код для управляючого контролера Arduino. При підключенні до комп'ютера micro USB через послідовний інтерфейс у середовищі розробки IDE Arduino можна відстежувати змінні, які дають інформацію про поточний стан процесу сканування за допомогою функції Serial.print() (рисунок 4.3)

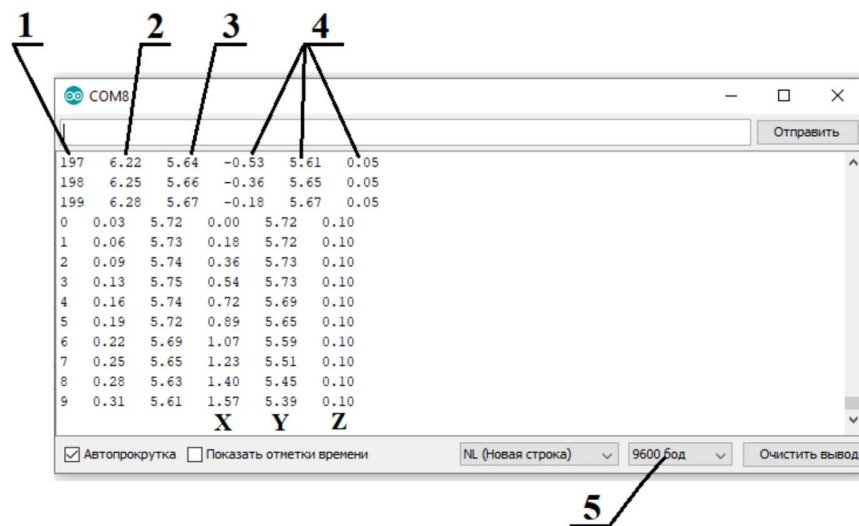


Рисунок 4.3 – Процес відслідковування параметрів сканування 3D сканера:

- 1 – порядковий номер кроку; 2 – кут у радіанах; 3 – відстань до об'єкта;
4 – координати об'єкта X, Y, Z, 5 – швидкість послідовного порту.

При аналізі відслідковуваних параметрів, є можливість корегування параметрів сканування значення які можна змінювати, аби вплинути на роботу сканера. Наприклад, щоб збільшити швидкість крокового двигуна поворотного столу, слід змінити кількість сканувань (вимірювань) за один кутовий крок.

4.3 Оброблення результатів сканування

Після досягнення необхідної якості сканування об'єкта з роздільною здатністю 0,5 мм і 1 мм вдалося вивести результати у вигляді сканів (хмари точок) у тривимірний простір. Виведення даних у вигляді хмари точок здійснювалося за допомогою спеціального програмного забезпечення Meshlab. Результати сканування, виведені у тривимірний простір, наведено на рисунку 4.4.

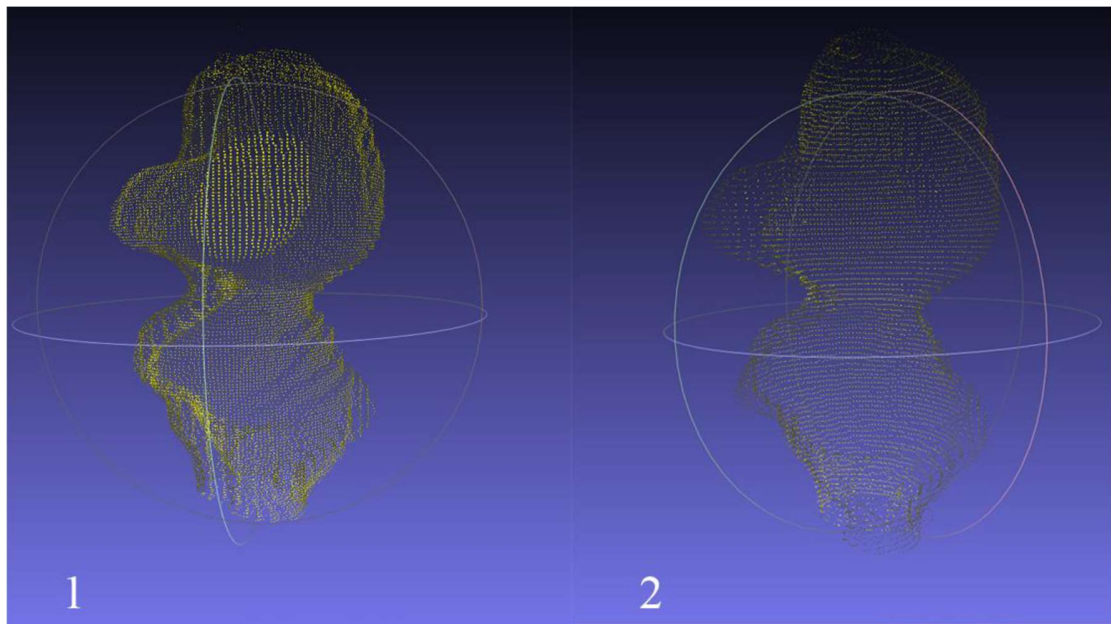


Рисунок 4.4 – Результати сканування об'єкта у вигляді хмари точок з роздільною здатністю: 1) 0,5 мм; 2) 1 мм

Для коректного відображення хмари точок необхідно було розрахувати нормалі для набору точок, після чого отримали коректне відображення хмари точок в тривимірному просторі. За результатами сканування (рисунки 51, 52) можна помітити, що кучність хмари точок при роздільній здатності 1 мм менше, ніж при 0,5 мм, внаслідок меншої відстані між точками сканування, відповідно за рахунок цього досягається більший ступінь деталізації об'єкта. Поточне дослідження проводилося за однакової точності, тобто при різній роздільній здатності здійснювалося 50 вимірів на точку, із яких визначалося середнє значення кожної

точки. Виходячи з порівняння результатів сканування, для створення 3D моделей рекомендовано використовувати хмару точок з більшою роздільною здатністю.

4.4 Створення 3D моделі.

Для створення 3D моделі необхідно було реконструювати та задати текстуру для форми хмари точок, після чого сформувати повноцінну 3D модель. У кінцевому перетворенні хмари точок в 3D модель було отримано наступний результат, який представлений на рисунку 4.5.

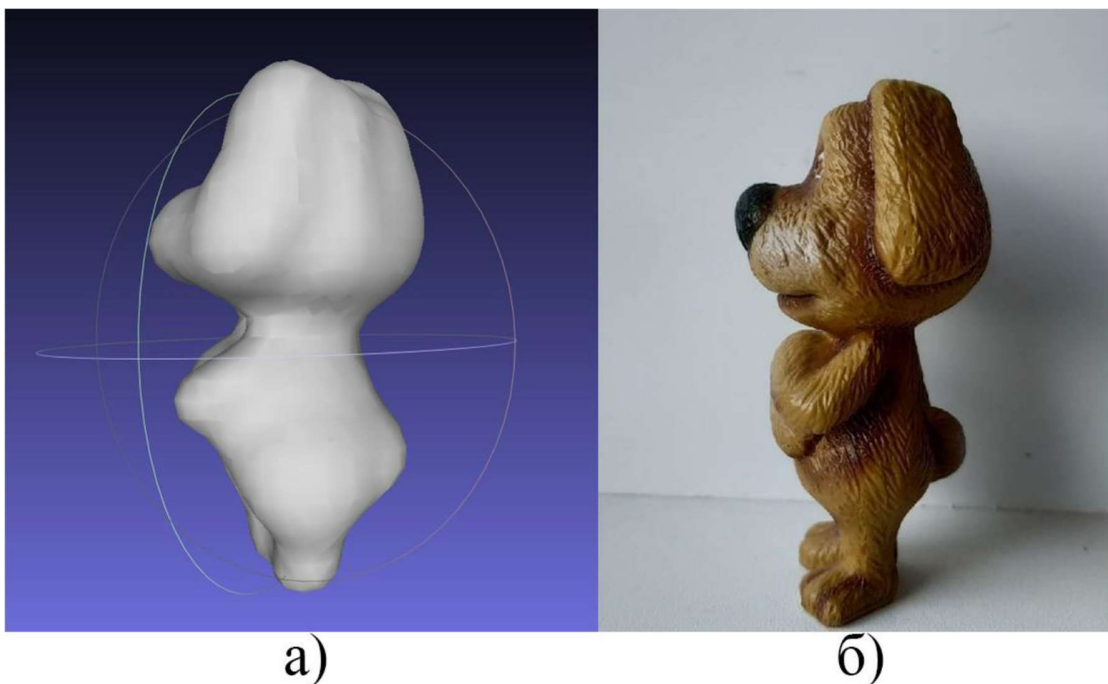


Рисунок 4.5 – Результат перетворення хмари точок на 3D модель:

а) 3D модель; б) вихідна модель (об'єкт сканування)

За результатом сканування видно, що модель є примітивним повторенням форми об'єкта сканування (форми вихідної моделі), в якій простежуються ключові форми силуету, але відбувається втрата в деталізації дрібних частин об'єкта. Також не враховуються ділянки із невеликими заглибленнями, які знаходяться у закритій зоні від сканування.

Це говорить про недолік вимірювання інфрачервоним далекоміром нестандартних геометричних форм об'єкта (вигинів, заглиблень), які вимагають більш точного скануючого модуля, що в свою чергу робить питання розробки 3D сканера відкритим для подальших досліджень в області тривимірної графіки.

Висновки по четвертому розділу

В результаті реалізації програмної частини та налагодження коду під 3D сканер вдалося досягти найбільш зручної якості сканування, після чого здійснено оброблення результатів сканування – файлу з даними у форматі координат X, Y, Z. В дослідницькій частині був експериментально досліджений об'ємний об'єкт при різній роздільній здатності (0,5 мм і 1 мм). Після обробки та візуалізації отриманих результатів у середовищі Meshlab вдалося отримати 3D модель об'єкта, за якою можна насправді оцінити якість сканування спроектованим пристроєм.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній магістерській роботі був розроблений макет діючого 3D сканера, який здатного сканувати мініатюрні фізичні деталі та об'єкти і виводити інформацію про їх форму у форматі тривимірних координат. Виконавши поставлені завдання було досягнуто основної мети роботи.

У першому розділі роботи проведено огляд існуючих рішень, а також основну концепцію та застосування 3D сканерів у різних інженерних галузях. Було досліджено основний пристрій 3D сканерів, проведено їх класифікацію, а також розглянуто технології 3D сканування та фізичні методи, на яких вони ґрунтуються. В результаті аналізу відомих рішень було остаточно визначено концепцію пристрою.

У другій частині було створено структурну схему, яка ілюструє суть з'єднання елементів системи пристрою. З її урахуванням було здійснено підбір елементної бази, на основі якої вдалося розробити електричну принципову схему проєктованого 3D сканера. З метою спрощення зв'язку між компонентами схеми було розроблено друковану плату.

У третьому розділі роботи проведено розробку конструкції пристрою: несучого каркаса і корпусу, які зведені в основні етапи її розробки.

У заключному розділі реалізовано програмне управління роботою 3D сканера. На даному етапі було написано програму та складено блок-схеми алгоритмів, які графічно відображають суть роботи програми. Провели експериментальні дослідження роботи 3D сканера, з отриманням результатів сканування при роздільній здатності 0,5 мм і 1 мм. Відповідно вдалося встановити, що покращення деталізації відбувається зі збільшенням кількості вимірювань на одну точку і скорочення довжини кроку руху по осі Z.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Arduino Pro Micro з конекторами URL: <https://arduino.ua/prod661-arduino-pro-micro-s-konnektorami> (дата звернення 22.11.2024)
2. Bleier M., Nüchter A. Low-cost 3d laser scanning in air or water using self-calibrating structured light. ISPRS – international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. 2017. XLII-2/W3. С. 105–112. URL: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w3-105-2017>
3. Bullinger S. Image-Based 3D reconstruction of dynamic objects using instance-aware multibody structure from motion / sebastian bullinger. 2020. URL: <http://d-nb.info/1216243115/34>
4. Daneshmand M., Traumann A., Anbarjafari G. 3D size-estimation based on the geodesic distance measured by photogrammetric scanning device. 6th international conference on 3D body scanning technologies, lugano, switzerland, 27-28 october 2015, м. Lugano, Switzerland, 27–28 жовт. 2015 р. Ascona, Switzerland, 2015. URL: <https://doi.org/10.15221/15.221>.
5. New compact 3D scanner. Metal powder report. 2021. Vol. 76, No 4. P. 183. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2021.06.077>.
6. Overby, Alan. CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation / Overby A. – 1 th ed. – McGraw-Hill Education TAB, 2010. – 272 p.
7. Quick Specs: URL: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/A3967-EDMOD_Manual.pdf (дата звернення 23.11.2024)
8. Xiao J., Leng X. X., Li D. Y. 3D reconstruction of rock mass based on point cloud library. Applied mechanics and materials. 2014. Vol. 543-547. P. 2920 – 2923.
9. Борозенець Г.М., Павлов В.М., Семак І. В. Деталі машин : Навчальний посібник. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.

10. Дубовой В. М., Моделювання та оптимізація систем: підручник / В.М. Дубовой, Р.Н. Кветний, О.І. Михальов, А.В. Усов. – Вінниця: «ТД «Еднльвейс», 2017. – 804 с.
11. Інноваційні підходи в підготовці магістрів з прикладної механіки : навч. посіб. / Т. Є. Божко, Б. П. Валецький, Л. М. Самчук, Т. І. Четвержук . – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. – 324 с.
12. Марчук С., Четвержук Т.І. Конструювання 3d-сканера на основі мікроконтролера Arduino. Тези IV студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ – 2024. – С. 64-67.
13. Методичні рекомендації до написання кваліфікаційної роботи за ступенем вищої освіти «магістр» : метод. рекомендації для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Прикладна механіка», спец. 131 Прикладна механіка, галузі знань 13 Механічна інженерія денної та заоч. форм навч. / уклад.: Т. І. Четвержук, Р. М. Полінкевич. – Луцьк: ЛНТУ, 2024. 48 с.
14. Проць Я.І., Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів./ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344с.
15. Репнікова Н. Б. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність; підручник / Н. Б. Репнікова. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 328 с.
16. Солод В.Ю. Експлуатація та ремонт технологічного обладнання механічних цехів. Навчальний посібник / В.Ю. Солод, О.В. Чернишов // Кам'янське, ДДТУ, 2018. – 275 с.
17. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування. Монографія / Є.А. Фролов, С.І. Кравченко, С.В. Попов, С.М. Гнітько. Полтава, 2019. – 204 с.

18. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. –3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.

19. Четвержук Т.І. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів./ Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Залета О.М., Склярів Р.А. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2021, №71. – С. 322-329.