

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему:

**Комп'ютеризована система вимірювання геометричних параметрів
виробів на машинобудівному підприємстві за їх відеозображеннями**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-3
напряму Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Невмержицький Володимир Сергійович
(прізвище та ініціали)

Керівник д.е.н., к.т.н.,

професор Єфіменко Н.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент, в.о. зав. кафедри

РЕА ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Громовий О.А.

(прізвище та ініціали)

Житомир 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

«18» _____ квітня _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Невмержицький Володимир Сергійович

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система вимірювання геометричних параметрів виробів на машинобудівному підприємстві за їх відеозображеннями

Затверджена Наказом по університету від «18» квітня 2024р. № 140/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «20» червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Розробка комп'ютеризованої системи вимірювання геометричних параметрів виробів на машинобудівному підприємстві шляхом використання інструментів машинного зору.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):

Технічне завдання, огляд та аналіз існуючих систем, розробка структурної схеми, розрахунок надійності, розрахунок метрологічних характеристик, безпека життєдіяльності та охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень): структурна схема, блок-схема алгоритму, макет інтерфейсу програми, плакат

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «18» квітня 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз існуючих рішень	18.04.2024 – 28.04.2024	
2	Розробка структурної схеми	29.04.2024 – 12.05.2024	
3	Розробка алгоритму та програмної частини	13.05.2024 – 19.05.2024	
4	Розрахунок надійності	20.05.2024 – 26.05.2024	
5	Розрахунок метрологічних характеристик	27.05.2024 – 09.06.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки та додаткових матеріалів	10.06.2024-19.06.2024	

Студент _____
(підпис)

НЕВМЕРЖИЦЬКИЙ В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

ЄФІМЕНКО Н.А.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану систему вимірювання геометричних параметрів виробів на машинобудівному підприємстві за їх відеозображеннями». Система проводить виміри лінійних розмірів простих деталей в ручному і автоматичному режимі.

Робота містить 61 сторінку, 19 рисунків, 8 таблиць, 26 формул, 29 джерел.

Розроблена структурна схема. Прораховано надійність системи.

Розроблена блок-схема алгоритму, та відповідне програмне забезпечення.

Розраховані метрологічні характеристики системи.

Ключові слова: Геометричні розміри, вимірювання лінійних розмірів, машинний зір, обробка відеозображень.

ABSTRACT

In this qualification work, a computerized system for measuring the geometric parameters of products at a machine-building enterprise based on their video images has been developed. The system measures the linear dimensions of simple parts in manual and automatic mode.

The work contains 61 pages, 19 figures, 8 tables, 26 formulas, 29 sources.

A structure scheme has been developed. The reliability of the system is calculated.

A block diagram of the algorithm has been developed, and the corresponding software has been developed.

The metrological characteristics of the system are calculated.

Keywords: Geometric dimensions, linear dimension measurement, machine vision, videoimage processing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	9
1.1 Призначення та сфера застосування	9
1.2 Умови експлуатації та параметри навколишнього середовища.....	9
1.3 Вимоги до технічних характеристик.....	9
1.4 Вимоги до надійності системи.....	10
1.5 Вимоги до конструктивного оформлення.....	10
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ.....	11
2.1 Принцип роботи відеовимірювальної машини.....	11
2.2 Огляд існуючих технічних рішень доступних на ринку.....	13
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	18
3.1 Принципи вимірювань на основі відеозображень.....	18
3.2 Блок отримання відеозображення.....	18
3.3 Блок аналізу та обробки відеозображення.....	19
3.4 Вибір компонентів системи.....	26
4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	32
4.1 Вибір технологій для розробки.....	32
4.2 Розробка алгоритму програмного забезпечення.....	34
4.3 Реалізація програмного забезпечення.....	35
4.4 Інтерфейс користувача.....	39
5. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ.....	45
6. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ.....	46
6.1 Об'єкт вимірювання.....	46
6.2 Розрахунок похибки вимірювань для ручного режиму.....	47
6.3 Розрахунок похибки вимірювань для автоматичного режиму.....	52
7. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	55
7.1 Охорона праці.....	55
7.2 Безпека життєдіяльності.....	56
ВИСНОВОК.....	58
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТКИ.....	62

					<i>МММТ 480.010.012 - ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	<i>Комп'ютеризована система вимірювання геометричних параметрів виробів на машинобудівному підприємстві за їх відеозображеннями</i>	Літ.	Арк.	Аркшів
<i>Розробив</i>	<i>Невмержицьки</i>							
<i>Перевірів</i>	<i>Єфіменко Н.А.</i>						5	53
<i>Рецензен</i>						<i>ДУ «Житомирська політехніка»,</i>		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Подчашинськи</i>							

ВСТУП

Машинобудування – одна з найважливіших галузей української економіки. Сучасний стан розвитку цієї галузі можна окреслити як незадовільний. Серед основних негативних тенденцій розвитку галузі машинобудування можна відзначити зниження прибутковості підприємств і ефективності використання всіх видів виробничих ресурсів, застаріле обладнання, скорочення чисельності персоналу, низька якість кінцевої продукції.

Одним зі способів підвищення якості на виробництвах є впровадження в виробничий процес високоавтоматизованих оптичних систем контролю.

Такі системи в своїй основі використовують концепції відеовимірювальної машини – програмно-апаратного комплексу, що використовує машинний зір для зняття заданих параметрів і їх подальшої обробки.

Технології відеовимірювальної машини та машинного зору є найперспективнішими відносно новими технологіями в області технологій забезпечення контролю якості на виробництвах. В основі технології лежить використання ЕОМ для імітації людської діяльності або відтворення певної інтелектуальної поведінки, пов'язаної з людським зором. Машіна добуває об'єктивну інформацію із відеозображень деталей, для подальшої обробки та використання цієї інформації. Також технологія використовується для фактичного виявлення об'єктів та контролю.

Відеовимірювальні машини мають дуже широкий спектр застосування в таких галузях як:

- Машинобудування;
- Важка та легка промисловість;
- Сільське господарство;
- Транспорт;
- Електронна промисловість.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Дрк.
						6
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		

На даний момент застосування систем промислового бачення можна умовно розділити на три напрямки:

- автоматичне виявлення;
- інтелектуальна збірка;
- робототехніка та навігація;
- геометричні вимірювання.

У загальному промисловому виробництві вимірювання розмірів деталей здебільшого проводиться в автономному режимі або вибірково.

Однак через постійне посилення вимог до якості продукції є потреба в 100% покритті вимірюваннями, що висуває вищі вимоги до ефективності та засобів контролю якості. В цьому випадку використання традиційної схеми контролю з ручними вимірами стає недостатнім через:

- складність контролю ручним вимірювальним інструментом великої кількості деталей;
- тривалий час вимірювання;
- низький рівень автоматизації;
- велика залежність від людського фактору.

Впровадження технології машинного зору в геометричні вимірювання дозволяє досягти швидкості вимірювання розмірів, безконтактності, хорошої гнучкості та високої точності. Це економить час і енергію та дозволяє уникнути людських помилок у процесі вимірювання, а також може забезпечує безперервність виробництва та підвищує рівень автоматизації виробництва.

Геометричні розміри та точність не тільки безпосередньо впливають на механічні характеристики та термін служби, але також мають важливий вплив на зменшення споживання енергії та забруднення навколишнього середовища. Аналогі перерахувати. Їх переваги та недоліки. Тому постає задача в розробці

Прямими аналогами системи на міжнародному ринку є продукція компанії Keyence серія IM, компанії Sylvac серії Vision 200, а також промислові комплекси Nikon Inexiv.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Основними недоліками вище перерахованих систем є:

- висока ціна;
- складність інтегрування у вже існуюче виробництво;
- неможливість модифікації програмного забезпечення;
- зав'язка на послугах нав'язаних виробником;

Тому постає задача в розробці аналогічного пристрою, який буде мати менше недоліків.

Метою данної роботи є: розробка комп'ютеризованої системи вимірювання геометричних параметрів виробів на машинобудівному підприємстві за їх відеозображеннями.

Для виконання заданої мети потрібно виконати такі задачі:

- Розробити структурну схему системи;
- Розробити програмне забезпечення системи;
- Провести серію вимірювань для визначення точності отриманої системи;
- Визначити надійність системи.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1 Призначення та сфера застосування

Комп'ютеризована система виимірювання повинна забезпечити вимірювання геометричних параметрів виробів.

Областю застосування є використання для контролю геометричних параметрів на машинобудівних підприємствах.

Початок розробки: квітень 2024.

Кінець розробки: червень 2024.

1.2 Умови експлуатації та параметри навколишнього середовища

- Вимоги до умов експлуатації представлено нижче;
- Температура навколишнього середовища: 0...+50 °С;
- Відносна волога при температурі +25 °С: 80%;
- Атмосферний тиск: 600...800 мм.рт.ст;
- Хімічно активні речовини: відсутні;
- Ударні навантаження: відсутні;
- Режим роботи: автоматичний, ручний, налагоджувальний.

1.3 Вимоги до технічних характеристик

- Об'єкт управління: комп'ютеризована система вимірювання;
- Параметр вимірювання: лінійні розміри об'єкту;
- Діапазон вимірювання лінійних розмірів: 6...150 мм;
- Абсолютна похибка: ручний режим ± 0.2 мм, автоматичний ± 5 мм;
- Відносна похибка: ручний режим $\pm 2\%$, автоматичний режим $\pm 10\%$.
- Напруга живлення: 3.3...5 В.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

1.4 Вимоги до надійності системи

На вхід системи має подаватись безперервний відеопотік, на виході потрібно отримати розміри, які виведуться в інтерфейс програми.

Система є такою що не відновлюється, не резервується, є ремонтпридатною.

При розробці бажано використовувати готові модулі.

Робота на відмову складає не менше 10 000 годин.

1.5 Вимоги до конструктивного оформлення

Пристрій виконати у формі стійки з робочою зоною 200 на 200 мм. Готові модулі закріпити на стійці так, щоб вони не перекривали робочу зону. Забезпечити освітлення робочої зони. Забезпечити виведення інформації на дисплей.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1 Принцип роботи відеовимірювальної машини

Вимірювальна система машинного зору складається з двох частин: апаратної та програмної.

Апаратна система відповідає за отримання зображення та виведення результату.

Програмна система виконує попередню обробку зображення та вимірювання геометричних параметрів.

Програмна частина включає чотири функції:

- отримання зображення;
- аналіз і обробка зображення;
- вимірювання розмірів;
- виведення результату.

Апаратна частина включає:

- джерело світла;
- об'єктив;
- камеру;
- карту отримання зображення.

Типова структурна схема комп'ютеризованої системи вимірювання геометричних параметрів на основі відеозображень представлена на рисунку 2.1.

Цифрові зображення, зібрані системою машинного зору, фіксують співвідношення розмірів цільових об'єктів. Але це співвідношення розмірів у пікселях. Щоб отримати конкретний геометричний розмір цілі, необхідно встановити зв'язок між положенням пікселів на зображенні та співвідношенням положення кожної точки в реальному світі. Цей процес називається калібруванням системи.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

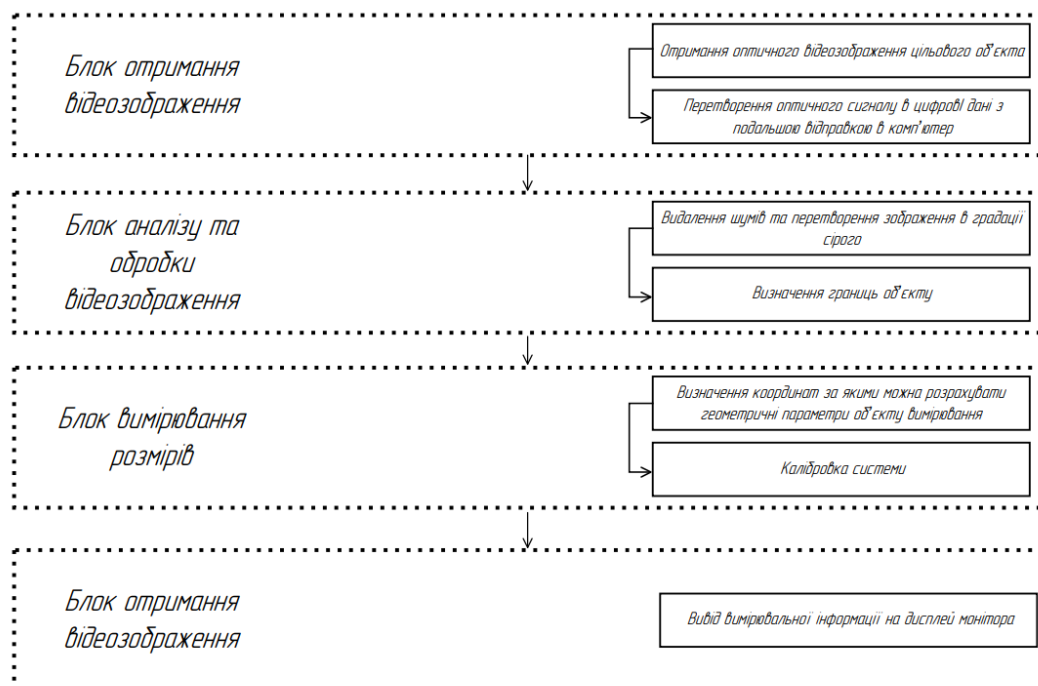


Рисунок 2.1: Структурна схема комп'ютеризованої системи вимірювання геометричних параметрів

У цій вимірювальній системі використовується такий метод калібрування вимірювання: беручи відомий блок маси (об'єкт розміри якого відомо заздалегіть, і не зміняться не зважаючи ні на що) як еталон, зображення маси вибирається з тими ж умовами вимірювання, що й фактичне вимірювання, і обчислюється значення пікселя в системі координат зображення. Відношення фактичного розміру еталону до розміру його пікселя є розміром калібрування камери. Під час вимірювання отримане зображення спочатку обробляється, а кількість пікселів у системі координат зображення підраховується та виражається як P . Воно порівнюється з фактичною довжиною L еталону, щоб отримати фактичний розмір S , якому відповідає кожен піксель. Виражається такою формулою (2.1):

$$S = \frac{L}{P} \quad (2.1)$$

S представляє фактичний розмір, що відповідає одному пікселю, а саме значення калібрування. Оскільки процес калібрування також вносить помилки, можна використовувати методи усереднення калібрування. Після отримання параметрів калібрування системи, розмір пікселя, отриманий за

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		12

допомогою вимірювання зображення можна перетворити на фактичний розмір. Однак коефіцієнт калібрування таких систем потрібно повторно відкалібрувати після заміни різних частин, що підлягають вимірюванню, або умов вимірювання (освітлення, відстань видимості, фокусна відстань тощо).

2.2 Огляд існуючих технічних рішень доступних на ринку

В процесі виконання дипломного проектування було досліджено вже існуючі технічні рішення. Тематиці роботи відповідають пристрої наступних типів:

- вимірювальні мікроскопи
- оптичні компаратори
- відеовимірювальні машини

Основний інтерес представляє третій тип пристроїв. Відеовимірювальні машини являють собою апаратно-програмний комплекс призначений для вимірювання геометричних параметрів об'єктів. Такі системи виготовляють багато різних компаній, найвідомішими з яких є Keyence(США), Nikon Metrology Inc(Японія), Mitutoyo(Японія), Zeiss(Німеччина).

Першим розглянутим пристроєм є Keyence серії IM (рис 2.2.1). Цей пристрій являється оптичним компаратором для вимірювання малих, великих та об'ємних деталей. Виробник позиціонує прилад для:

- Інспекції прототипів;
- Контролю якості зразків, що знаходяться в виробництві;
- Контролю деталей для передпродажної підготовки;
- Позапланових перевірок.

Особливостями цього приладу є відсутність необхідності в точному позиціонуванні об'єкту вимірювання на столі. Це досягається завдяки телецентричній системі лінз та дзеркал які забезпечують фокус по всій площині столу(рис 2.2 — 2.3)

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		



Рисунок 2.2: Оптичний компаратор Keyence серії ІМ



Рисунок 2.3: Система лінз компаратора

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

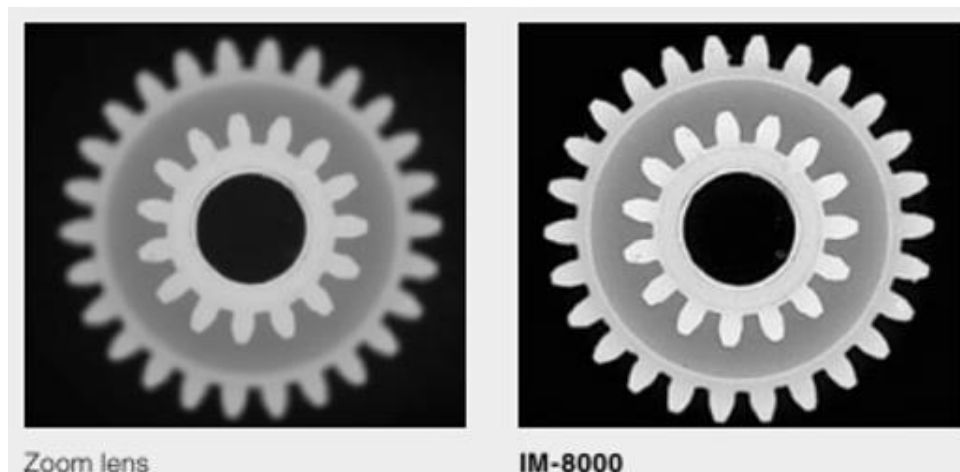


Рисунок 2.4: Відмінність звичайної оптики камери та телецентричної системи
Телецентрична оптична система забезпечує відсутність ефекту риб'ячого ока(рис 2.4), та мінімізує викривлення відеозображення(рис 2.5).

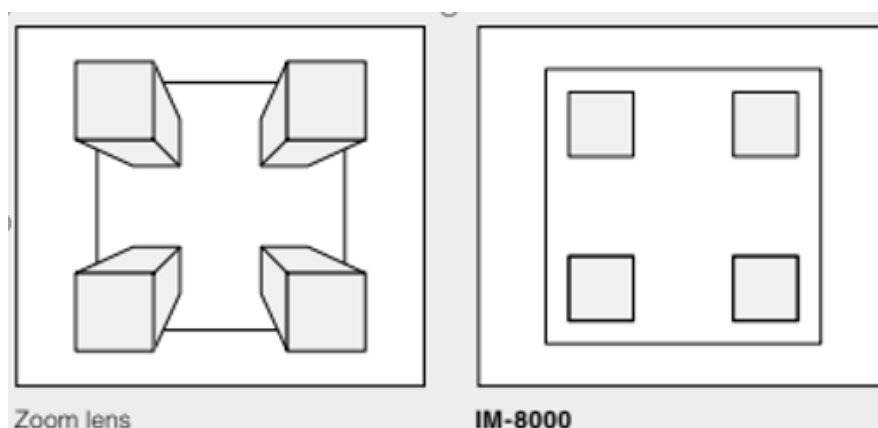


Рисунок 2.5: Порівняння звичайного об'єктива і телецентричної оптичної системи.

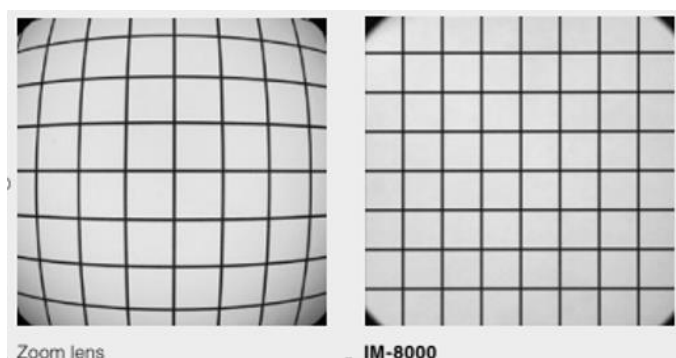


Рисунок 2.6: Порівняння викривлень звичайного об'єктива та телецентричної системи

В якості камери використовується 20-мегапіксельна монохромном CMOS матриця високої роздільної здатності.

Так як основну роль в відеовимірвальних машинах грає програмне

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		15

забезпечення то потрібно розглянути і його. Комплекс від Keyence має спеціальні алгоритми для точного відстежування границь об'єкту вимірювання на зображенні (рис 2.7). Також є алгоритми для правильної склейки відеозображень в панорамний знімок, що забезпечують вимірювання деталей, які не поміщаються повністю на вимірювальному столі.

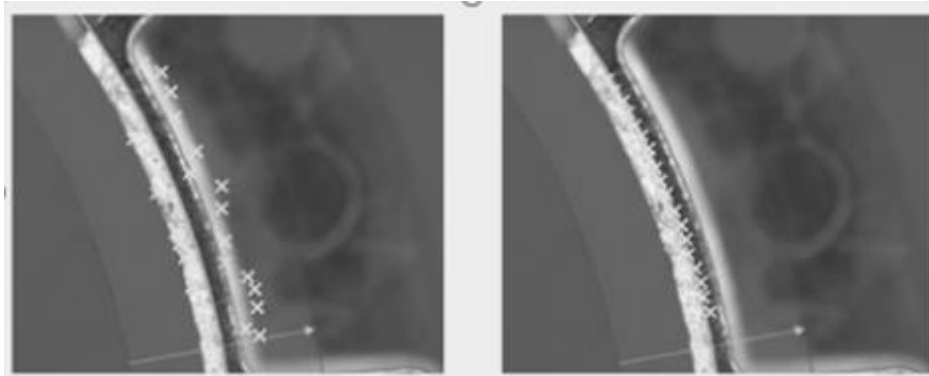


Рисунок 2.7: Демонстрація роботи алгоритму відстежування границь об'єкту вимірювання.

Щодо точності вимірювань, комплекс в залежності від комплектації забезпечує точність від ± 0.5 мікрон до ± 1 мікрона.

Підсумовуючи вище написане можна виділити недоліки та переваги даної системи.

Переваги:

- Точність вимірювань;
- Простота використання;
- Відсутність похибки оператора.

Недоліки:

- Складна система лінз;
- Ціна;
- Закрите програмне забезпечення.

Ще однією розглянутою системою є серія пристроїв NEXIV VMZ-S японської компанії Nikon Metrology Inc (рис 2.8).

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

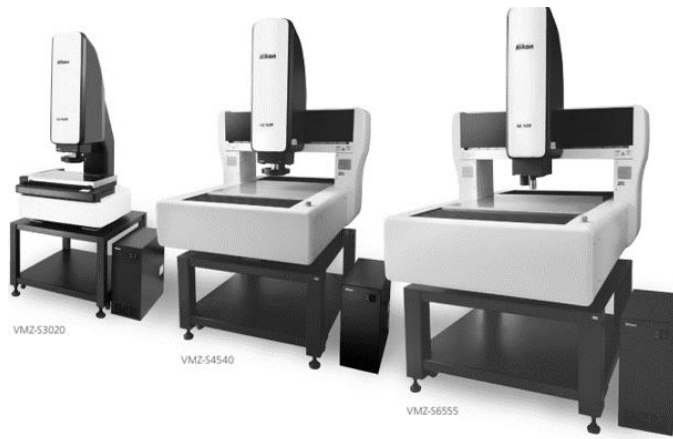


Рисунок 2.8: Пристрої NEXIV VMZ-S

Ці комплекси на відміну від попередніх призначені саме для встановлення на великі підприємства в галузі машинобудування або виробництва електроніки. В залежності від об'єктива точність цього пристрою варіюється від ± 0.01 мікрона до ± 0.1 мікрон.

Вони мають наступні переваги та недоліки:

Переваги:

- Змінні об'єктиви
- Простота використання
- Відсутність похибки оператора
- Можливість конвертувати відеозображення з проставленими розмірами в CAD модель.
- Можливість роботи з надмалими об'єктами

Недоліки:

- Габарити
- Закрите програмне забезпечення
- Ціна
- Необхідність окремого комп'ютера для використання пристрою

Програмне забезпечення аналогічне продукції Keyence.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1 Принципи вимірювань на основі відеозображень

Система, що розроблюється передбачає використання таких основних компонентів: камера з CMOS матрицею, модуль обчислень та відображення, монітор.

Об'єктами вимірювань будуть виступати деталі з прямими гранями.

Для розміщення об'єкту вимірювань потрібна робоча площина, камера повинна бути паралельно площині, для зменшення кількості спотворень.

3.2 Блок отримання відеозображення

Вимірювальна система фіксує зображення, які відображають характеристики поверхні валу за допомогою CMOS-камери. Оскільки деталі які виробляють на машинобудівних підприємствах частіше за все належать до непрозорих тіл, для отримання висококонтрастних зображень і полегшення подальшої обробки зображень тут потрібно використовувати підсвічування.

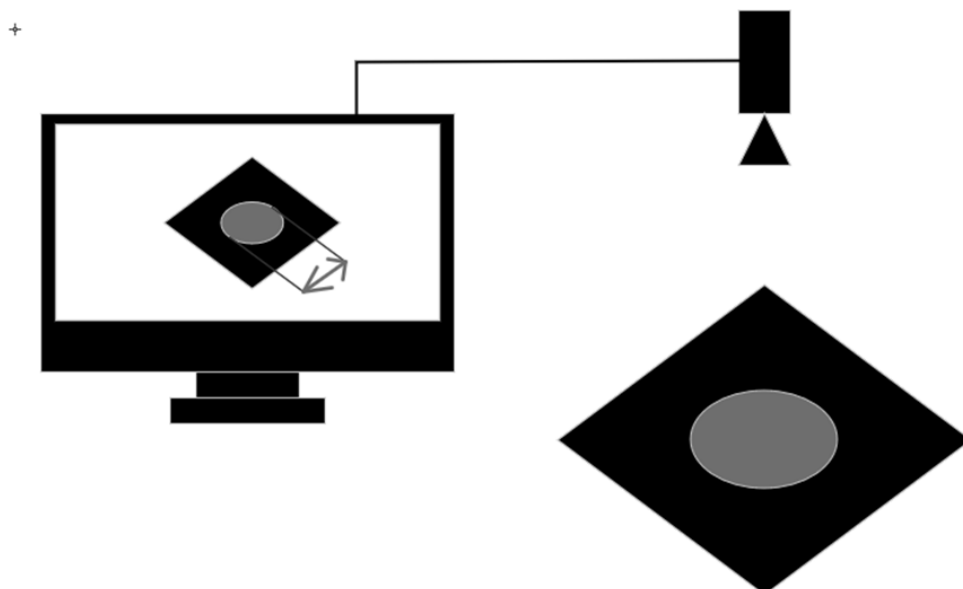


Рисунок 3.1: Схематичне зображення комп'ютеризованої системи вимірювання геометричних параметрів

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		18

Джерело світла посиляє світлові хвилі, які опромінюються кільцевою світловою трубкою на вимірювану частину, щоб деталь якомога більше перебувала на контрольованому фоні рівномірного освітлення (щоб зменшити вплив зовнішнього світла).

Зображення оптичної системи здійснюється на світлочутливій поверхні CMOS-матриці. Плата отримання зображення (відеоадаптер комп'ютера) отримує вхідний аналоговий сигнал від камери (якщо камера аналогова), або і перетворює його у дискретний цифровий сигнал для обробки комп'ютером, в випадку з сучасними цифровими камерами, на вхід для обробки подається одразу цифрова інформація, без необхідності перетворення, адже перетворення відбувається потужностями самої камери. Обробляючи зібрані дані зображення, комп'ютер може швидко й точно обчислити розмір деталі та видати результат безпосередньо на графічну карту, щоб показати його. Схематично зображення системи представлено на рис. 3.1.

3.3 Блок аналізу та обробки відеозображення

Модуль аналізу й обробки зображень в основному складається із змішаного програмного забезпечення для розробки зазвичай це Open CV і C++, або готові промислові програмні комплекси на кшталт Mathworks MATLAB з її набором інструментів для обробки зображень Image Processing Toolbox.

Виконувані функції включають попередню обробку зображення, визначення контурів і реалізацію алгоритму вимірювання розмірів.

Препроцесинг відеозображення в основному включає два етапи: перетворення зображення у відтінки сірого та усунення шумів зображення.

Зображення, зняте камерою, є 32-бітним зображенням RGB. Колір кожного пікселя представлено комбінацією червоного (R), зеленого (G) і синього (B). Кожен колір представлений 8 бітами, тому теоретично він може містити 255 різних кольорів та може не відтворювати справжній колір об'єкту.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Але вимірювання розміру деталей пов'язане з особливостями контурів зображення цих деталей. Ці особливості можна виразити зміною рівня сірого на зображенні, тому для того, щоб зменшити кількість операцій у процесі обробки зображення, зображення, зняте камерою, потрібно перетворити у зображення в градаціях сірого (монохромне).

Обробка відтінків сірого, це процес перетворення вхідного кольорового зображення в зображення у відтінках сірого за допомогою алгоритму кореляції. Обробка відтінків сірого відображає значення сірого зображення в новому діапазоні, що полегшує ідентифікацію певних особливостей зображення та полегшує подальше маніпулювання зображенням. Гістограма градацій сірого природного зображення часто має більш високу частоту в інтервалі градацій сірого з низьким значенням, що робить темніші деталі на зображенні часто непомітними. Щоб зробити зображення чіткішим, сірий діапазон зображення можна розсунути, а рівень сірого з меншою частотою сірого зробити більшим, щоб гістограма у відтінках сірого мала тенденцію бути узгодженою в широкому динамічному діапазоні, тобто гістограма вирівнялась. Після вирівнювання гістограми деталі зображення можуть бути чіткішими, а частка кожної градації сірого більш середньою.

Зменшення шуму зображення виконується за допомогою вейвлет-перетворень для зменшення шуму на вибраних частинах зображень.

Процес усунення шумів включає три етапи:

- багатомасштабне розкладання;
- багатомасштабне усунення шумів;
- вейвлет-інверсне перетворення.

Вейвлет-перетворення використовується для реконструкції зашумленого сигналу, що може видалити шум Гаусса (Gauss Noise) і шум солі та перцю (salt and pepper noise) в сигналі.

Для зображень з високим співвідношенням сигнал-шум, для визначення контурів використовується метод найменших квадратів та алгоритм просторового моменту для локалізації контуру на субпіксельному рівні. Таким

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		

чином можна досягти точності для виявлення прямолінійних контурів, і отримати задовільні результати. Точність субпіксельного позиціонування методу найменших квадратів лінійної регресії становить приблизно 0,1 пікселя, точність субпіксельного позиціонування просторового моменту становить приблизно 0,01 пікселя, і метод найменших квадратів для субпіксельного позиціонування набагато швидший за метод просторового моменту для субпіксельного позиціонування.

Тому варто використовувати метод найменших квадратів для зведення двовимірного визначення контуру до одновимірного визначення контуру, щоб прямолінійний контур міг досягти субпіксельної точності. У методі виявлення контуру з лінійним фільтруванням оптимально використовувати оператор Кенні, який є найбільш репрезентативним, і це також один із операторів, який краще виявляє ступінчатий ефект контуру. Оператор Кенні використовується як функція визначення межі рівня цілого пікселя, щоб отримати всю межу рівня пікселя. Потім локація контурного субпікселя виконується за допомогою лінійної регресії за методом найменших квадратів. Алгоритм виявлення контурів через оператор Кенні реалізовано шляхом обчислення розміру градієнта та напрямку кожного пікселя у відфільтрованому зображенні. Візьмемо шаблон 2×2 , його можна використовувати як похідну першого порядку для часткового диференціювання в напрямку x та y (3.1 – 3.3).

$$p = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, Q = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Отриманий розмір і напрям градієнта:

$$M(x, y) = \sqrt{P^2(x, y) + Q^2(x, y)} \quad (3.2)$$

$$\theta = \arctan \left[\frac{Q(x, y)}{P(x, y)} \right] \quad (3.3)$$

Далі краї уточнюються шляхом диференціювання всіх негребневих піків у напрямку градієнта. Нарешті, виконується подвійна порогова сегментація та вибираються два порогові значення градієнта. Високий поріг зазвичай у 2-3 рази перевищує низький поріг. Спочатку точки пікселів зі

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		

значенням градієнта, меншим за високий поріг, видаляються з набору контурних точок, і отримується набір F контурних точок, а потім обробляється набір пікселів M з градієнтом між високим і низьким порогами. Якщо точка в M має сусідню точку в F , то ця точка додається до F , і, нарешті, виходить множина контурних точок.

Після отримання контурних точок, зображення з високим відношенням сигнал/шум очищається шляхом виділення контурів, векторний набір $E_i = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$, що містить контурні точки пікселів, отримується для виконання регресійної обробки на прямих краях механічних частин.

Оскільки деталі в машинобудуванні шліфуються з високою точністю, їх краї можна наблизити як пряму лінію, що задовольняє вимогам точності. Крім того, виявлене зображення ретельно оброблюється, контраст між цільовою та фоновою яскравістю на знятому зображенні високий, а векторна група контурів, отримана під час обробки на першому етапі, включає всі контурні точки всієї точності пікселів. Таким чином, безпосереднє виконання лінійної регресії для E_i не тільки має вищу точність позиціонування, але також має вищу швидкість обчислення.

Якщо E_i містить занадто багато шуму, лінійна регресія виконується безпосередньо на E_i , і повернута пряма лінія може відхилитися від справжнього положення контуру, що призводить до великої помилки, і на даний момент вона не підходить для прямої регресії.

Коли модель визначена, основним завданням є оцінка параметрів. Лінійний коефіцієнт α оцінюється за допомогою лінійної регресії за методом найменших квадратів (3.4).

$$Q(\alpha) = \sum (y_i - \alpha_0 - \alpha_1 x_{i1} - \dots - \alpha_p x_{ip})^2 \quad (3.4)$$

Знаходиться мінімум формули, що є точкою α : $Q'(\alpha) = \min Q(\alpha)$, є невід'ємною похідною другого порядку α , нехай $Q(\alpha)$ буде похідною першого порядку α , що дорівнює 0, тоді можна отримати оцінку α за методом найменших квадратів (3.5).

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		

$$\begin{cases} \frac{\partial Q(a)}{\partial \alpha_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha_0 - \alpha_1 x_{i1} - \dots - \alpha_p x_{ip}) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, p) \\ \frac{\partial Q(a)}{\partial \alpha_i} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha_0 - \alpha_1 x_{i1} - \dots - \alpha_p x_{ip}) x_{ij} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, p) \end{cases} \quad (3.5)$$

Було перетворено ці рівняння у нормальні рівняння з параметром α (3.6):

$$y = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n]^T, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{np} \end{bmatrix}, \alpha \quad (3.6)$$

Далі формула приймає вигляд (3.7):

$$X^T X \alpha = X^T y \quad (3.7)$$

З цього, найменшу квадратичну оцінку лінійного параметру можна розрахувати як (3.8):

$$\alpha = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (3.8)$$

Якщо контурні точки мають нормальний розподіл, оцінка за методом найменших квадратів лінійного параметра є незміщеною оцінкою. Звідси отримують параметри лінійної оцінки, щоб отримати пряму лінію регресії. Пряма лінія — це субпіксельна позиція, що проходить через контурні пікселі. Чим більше точок бере участь в оцінці, тим вища точність регресії та менший вплив шуму.

Після попередньої обробки зображення отримані значення можна безпосередньо обчислити. Для більшості деталей геометричне вимірювання включає радіус та лінійні розміри (висота, ширина, глибина тощо).

Через особливості деталей які створюють в машиннобудівній галузі можна використати алгоритм перетворення Хафа для виявлення прямих ліній. Його основна ідея полягає в тому, що кожна точка даних на прямій лінії перетворюється на пряму лінію або криву на площині параметрів, а зв'язок між параметричною кривою, що відповідає колінеарній точці даних, перетинається з однією точкою в просторі параметрів, і задача виділення прямої трансформується в задачу підрахунку. Основна перевага перетворення

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Адк.
						23
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Хафа при виділенні рядка полягає в тому, що на нього менше впливають розриви та шум у рядку. З похідного зображення контуру можна виявити два відрізки прямої лінії, і по черзі отримують параметри положення кожної прямої лінії, тобто лінії висоти, ширини, глибини тощо.

Коло або дуга на зображенні деталі також є набором субпіксельних точок після виявлення субпіксельних контурів. Підбирається коло за методом найменших квадратів, а потім знаходять діаметр частини кола. Принцип вимірювання діаметра деталей показано на рис. 2.3. Калібрувальне значення точки В обчислюється спочатку, оскільки радіус R деталі є довжиною відрізка лінії OB на малюнку, тобто відповідною фактичною відстанню між пікселями в сегменті AB . Згідно з лінійним характером формули калібрування та геометричним співвідношенням від точки A до точки B , можна знати, що значення калібрування точки пікселя від точки A до точки B монотонно зростає. Тому між цими точками даних необхідно знайти відповідну точку. Кількість пікселів у сегменті AB , помножена на значення калібрування цієї точки, дорівнює R .

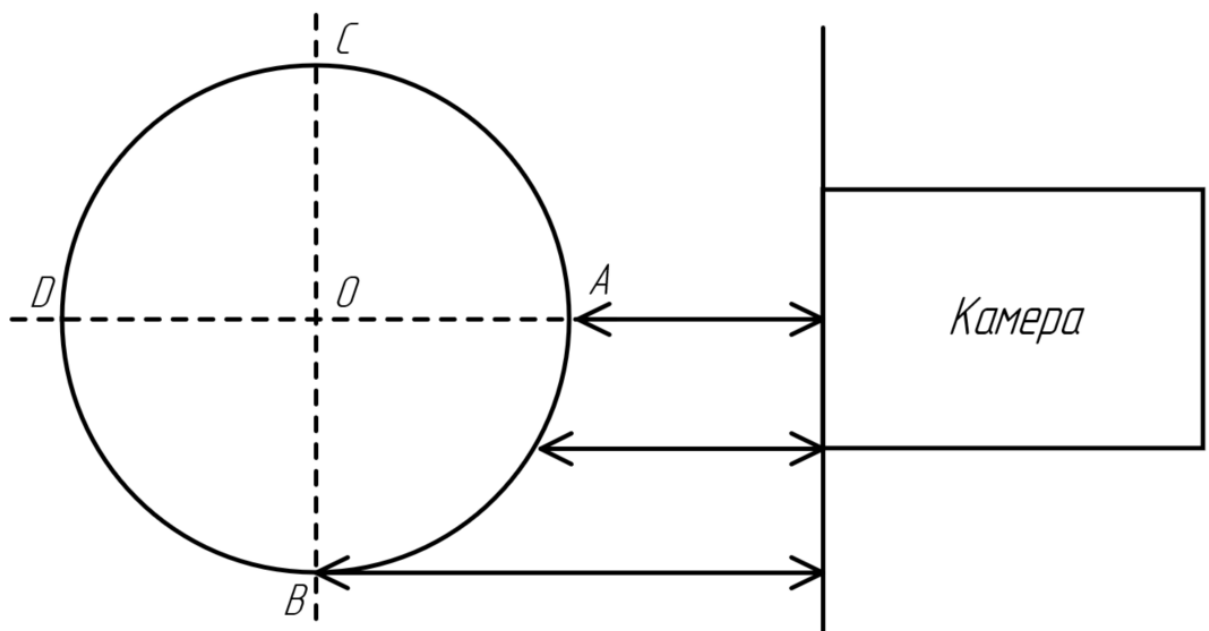


Рисунок 2.3: Принципи вимірювання діаметра деталей

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Припустимо, дійсне число φ і $0 < \varphi < 1$. Наведені вище точки, які потрібно знайти, можна виразити як (3.9):

$$Y_{A\varphi} + Y_B(1 - \varphi) \quad (3.9)$$

В результаті буде отримано (3.10):

$$R = N[Y_{A\varphi} + Y_B(1 - \varphi)] \quad (3.10)$$

Оскільки у формулі (3.10) лише R і φ є невідомими, де R є бажаним значенням, початкове значення R можна обчислити за початкового значення φ . Однак це значення R не є остаточним результатом, і його потрібно постійно переглядати, доки воно не досягне вимоги. Після отримання початкового значення R можна обчислити значення калібрування кожної точки від точки A до точки B , а потім накопичити для отримання наступного значення R . Якщо різниця між двома суміжними значеннями R менша за достатньо мале ε , значення R є кінцевим результатом. Якщо воно не менше ε , то за формулою (3.9) отримуємо нове значення φ . Потім використовується це значення φ , щоб знайти наступне значення R . Цей цикл буде працювати, доки не буде знайдено остаточний результат R . Вираз, який використовується для обчислення значень калібрування, що відповідають n і $n + 1$ точкам Y_n і Y_{n+1} , а також відстані L_{n+1} точки від камери є (3.11):

$$\begin{aligned} Y_n &= a' + b'L_n + c'N \\ Y_{n+1} &= a' + b'L_{n+1} + c'(N + 1) \\ L_{n+1} &= 244 - \sqrt{R^2 - \left(\sum^n Y_i\right)^2} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Де $n = N, 1, 2, 3, \dots$, Y_n і Y_{n+1} представляють відповідні значення N і $n + 1$ точок на АВ півколі, а L_{n+1} означає відстань від камери. a' , b' , c' задані параметри. Через обчислення вищевказаного процесу отримують кінцевий результат вимірювання.

3.4 Вибір компонентів системи

У цій роботі планується використовувати наступні компоненти:

Камера з CMOS-матрицею – повинна забезпечувати вивід фото-відео зображення з високою роздільною здатністю, 640x480 і вище. Чим більша роздільна здатність камери, тим більше деталей на кінцевому зображенні можна буде опрацювати. Камера повинна підключатись стандартними роз'ємами USB та/або HDMI та/або BNC. Ідеальним варіантом камери буде пристрій з 20-мегапіксельною монохромною CMOS-матрицею та телецентричною оптичною системою аналогічною до таких, що використовуються в пристроях промислового рівня, але для перевірки працездатності системи підійде будь-яка побутова веб-камера зі своєю штатною пластиковою оптикою.

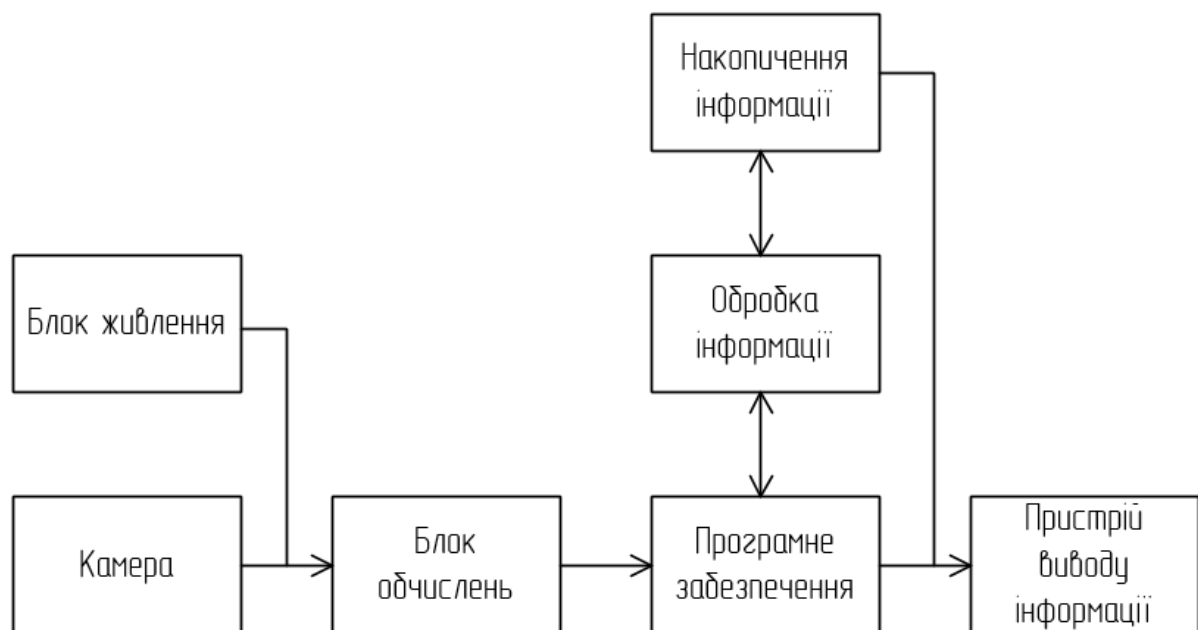


Рисунок 3.1: Структурна схема системи

Модуль обчислень та відображення – має являти собою комп'ютерну систему, що має забезпечувати можливість приймати стабільно відеопоток з вимірювальною інформацією, оброблювати її та виводити результати роботи в веб-інтерфейс. Пристрій має мати операційну систему для зручності

використання. Для таких цілей підійдуть одноплатні комп'ютери, також це забезпечить компактність системи. Модуль має мати USB-роз'єм та Ethernet, опціонально бездротові Wi-fi та/або Bluetooth

Монітор – в якості пристрою виводу інформації підійде будь-який пристрій що має функціонал монітора, і може бути підключений до системи.

Структурну схему системи що розроблюється представлено на рисунку 3.1.

В якості модуля обчислення та відображення було обрано готовий одноплатний комп'ютер Orange Pi Zero LTS (рис 3.2). Дане рішення було обрано через компактні розміри, наявність декількох способів підключення до мережі та потужність якої вистачить для задачі вимірювання геометричних параметрів деталей. Технічні характеристики представлено в таблиці нижче:

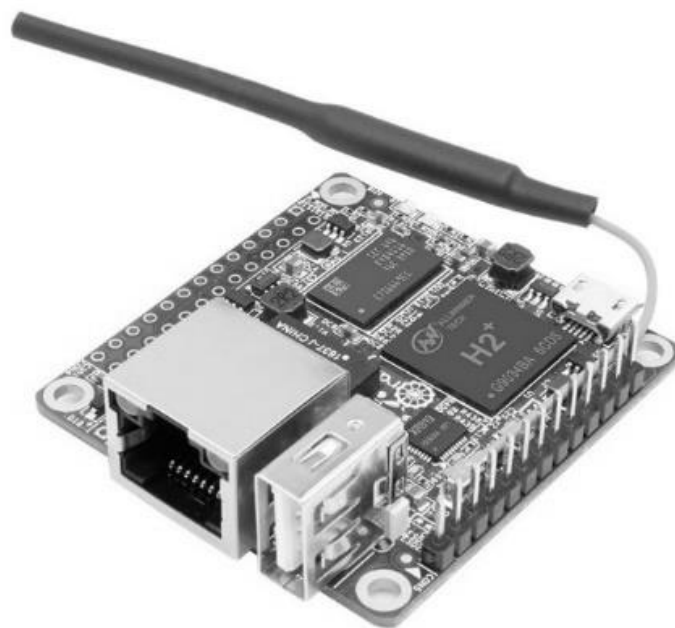


Рисунок 3.2: Одноплатний комп'ютер

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики одноплатного комп'ютера Orange Pi Zero LTS.

Характеристика	Значення
Центральний процесор	Alwinner H2+ 4 ядра ARM Cortex-A7 H.265/HEVC 1080P.
Відеосистема	Mali400MP2 GPU 600МГц
Оперативна пам'ять	256 Mb SDRAM
Внутрішня пам'ять	SD-карта

Мережа	10/100M Ethernet RJ45
Бездротова мережа	IEEE 802.11 b/g/n
Джерело живлення	5 В, 3А
Габаритні розміри	48x46 мм

В якості центрального процесора в системі використовується система на чіпі Alwinner H2+. Виробником заявляється, що це високоефективний процесор з низькою ціною. Основне призначення це обчислення, функціональна інтеграція та домашні розваги.

Можна виділити основні особливості процесора для використання в комп'ютеризованій системі вимірювання геометричних параметрів на основі відеозображень:

Відео підсистема: Забезпечує декодування мультиформатного відео.

Забезпечує кодування відео в наступних кодах: H.264:1080p/30fps. Також система може кодувати зображення розміром до 4800x4800 пікселів, підтримує альфа-змішування. Підтримує 8-бітні CMOS сенсори до 5 мегапікселів, може захоплювати відео до 1080p/30fps.

Схема процесора представлена на рисунку 4.1. Функціональна схема представлена на рисунку 4.2.

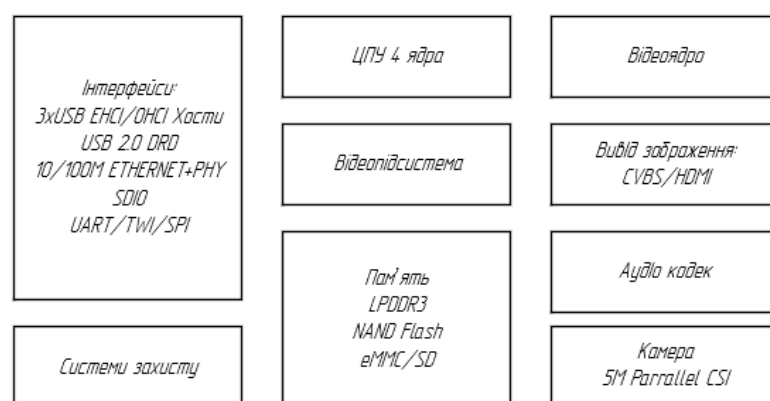


Рисунок 3.3: Схема процесора

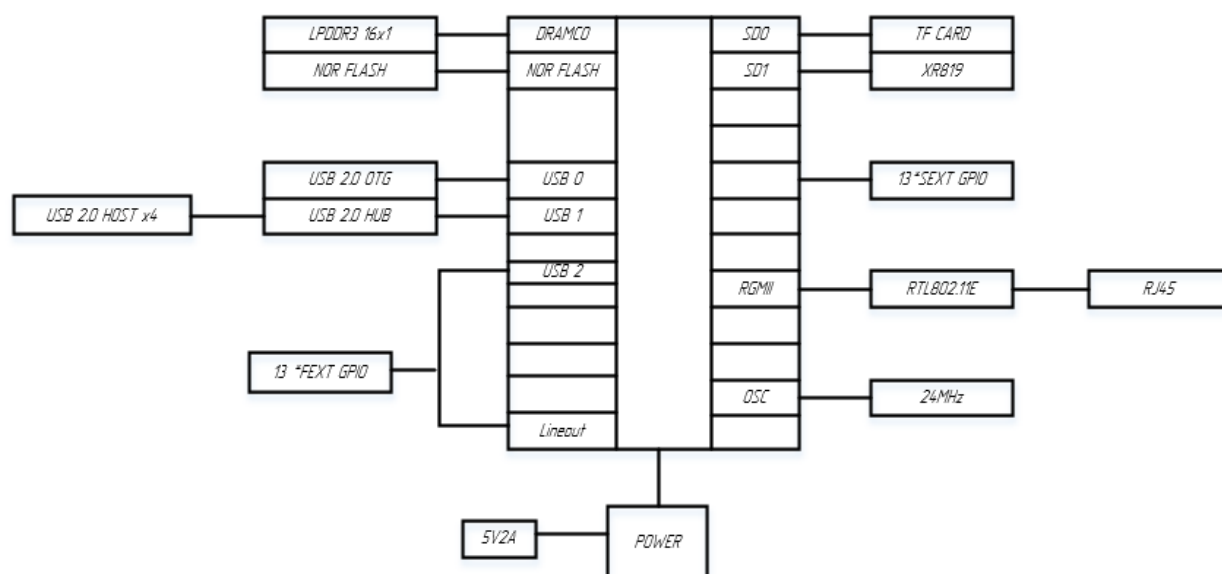


Рисунок 3.4: Функціональна блок-схема комп'ютера

Характеристики представлені в таблиці нижче:

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики Alwinner H2+

Характеристика	Значення
Архітектура	ARM
Мікроархітектура	Cortex-A7
Дата виробництва	3 квартал 2019 року
Техпроцес	40 нм
Кількість ядер	4
Кількість потоків	4
Частота	0.9...1.5 ГГц
Кеш	512 Кб
Максимально підтримувана пам'ять	2 Гб
Кількість ліній PCI	4
Тепловиділення	4 Вт
Відеоадаптер	Mali 400
Кількість виконуючих блоків ГА	2
Кількість тіньових блоків ГА	32
Частота ГА	600 МГц
Кількість операцій з плаваючою точкою	10.9 ГФлопс
Сокет	FBGA347
Криптографія	AES, DES, TDES, SHA-1/SHA-224, SHA384, SHA512, MD5, HMAC-SHA1, PRNG, TRNG
Максимальна роздільна здатність дисплею	1080p/60fps

Відеокодер	H.264 1080p@30fps
Відеодекодер	H.265:1080p/60fps, H.264:1080p/60fps, MPEG 1/2/4:1080p/60fps, VP8:1080p/60fps, VC1:1080p/30fps, AVS:1080p/60fps, MJPEG:1080p/30fps.
Максимальна камера	5 Мп
Модем	10M/100M Ethernet + PHY
Інтерфейси	HDMI 2.0, USB 2.0
Бездротові мережі	XR819, IEEE 802.11 b/g/n, 2.4G Wi-Fi

В якості камери було обрано веб-камеру Logitech C270 (рис 3.3). Вона забезпечує відеопотік до 720р. Дане рішення було обгрунтоване виключно ціною, адже камери з великими сенсорами мають досить високу ціну і використовувати її для наших цілей недоцільно. Технічні характеристики представлено в таблиці нижче:



Рисунок 3.5: Веб-камера

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики вебкамери Logitech C270.

Характеристика	Значення
Максимальна роздільна здатність	720р/30fps
Кількість мегапікселів	0.9
Фокус тип	фіксований фокус
Тип лінзи	пластикова
Діагональне поле зору	55 градусів
Габаритні розміри	73x32x67 мм

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

Усі модулі системи живляться від джерела живлення з наступними характеристиками (рис 3.4):



Рисунок 3.6: Блок живлення

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики джерела живлення.

Характеристика	Значення
Вхідна напруга	100...250 В
Частота вхідної напруги	50/60 Гц
Сила струму вхідної напруги	250 мА
Вихідна напруга	5 В
Частота вихідної напруги	50/60 Гц
Сила струму вихідної напруги	3А

4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Вибір технологій для розробки

При виборі технологій для розробки потрібно брати до уваги, хто буде користуватись кінцевим продуктом і при яких умовах. Враховуючи те, що система яка розроблюється призначена для поточного контролю геометричних параметрів, тобто не буде використовуватись на конвеєрі, нам не потрібна висока швидкодія програмного забезпечення, але потрібна простота, і можливість модифікувати програмне забезпечення людям без відповідного досвіду. Враховуючи це, програмне забезпечення було написане з використанням мови Python. Цей вибір зумовлено тим, що код є читабельним і зрозумілим, а також через популярність мови в середовищі обробки даних, в подальшому отриману вимірювальну інформацію буде легко зв'язати з бібліотеками обробки даних, тим самим розширивши функціональність системи. Також хорошим вибором міг стати програмний комплекс MATLAB, але в нього є низка недоліків, основним з яких є висока вартість, і дороговизна інтеграції в процеси.

На даний момент існує дві великі бібліотеки для роботи з зображеннями і машинним зором, це OpenCV та Image Processing Toolbox. Вони мають багато спільного, а також переваги та недоліки. Розглянемо переваги OpenCV:

- відкритий код:

OpenCV є відкритою бібліотекою, що означає, що її можна вільно та безкоштовно використовувати в академічних та комерційних цілях.

- багатомовність

OpenCV має біндинги для різних мов програмування, таких як Python, Java, Ruby, Matlab, Lua та інші.

- багатофункціональність

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

OpenCV надає засоби для обробки і аналізу вмісту зображень, включаючи розпізнавання об'єктів, відстежування руху, перетворення зображень та застосування методів машинного навчання.

До недоліків OpenCV можна віднести відносну складність користування бібліотекою з деякими мовами програмування та відсутності готових рішень «все в одному» для спрощення розробки людям які з тих чи інших причин не володіють навичками програмування.

Натомість Image Processing Toolbox має усі ті самі переваги, що і OpenCV, а також забезпечує просту взаємодію людини з цим інструментом, при бажанні можна навіть не писати код, а робити все в інтерактивному режимі через Simulink. Недоліком цього інструменту є висока ціна, велика кількість ресурсів які потрібні для роботи самого середовища, і ліцензія котра забороняє використання продукції Mathworks для деяких цілей, і обмежує доступ до програмного забезпечення в деяких країнах.

Зваживши всі за і проти була обрана бібліотека OpenCV, через те що вона більш лояльна до систем з обмеженими ресурсами і наявністю біндингів під раніше обрану мову програмування Python.

Так як система яка розробляється використовує комп'ютер в якості блоку обчислень, потрібно обрати операційну систему. В данному випадку було обрано операційну систему на базі ядра Linux. Вона має низку переваг для розробки промислових приладів, а саме:

- Модульність;
- Багатозадачність;
- Мережевий стек;
- Доступність;
- Стабільність та передбачувана поведінка.

В якості операційної системи було обрано Armbian, а також для тестування програмного забезпечення на звичайному ПК було застосовано Ubuntu 18.04. Усі скріншоти, з програмним забезпеченням для зручності було зроблено саме там.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Док.
						33
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		

4.2 Розробка алгоритму програмного забезпечення

Алгоритм програмного забезпечення системи представлено на рисунку

4.1

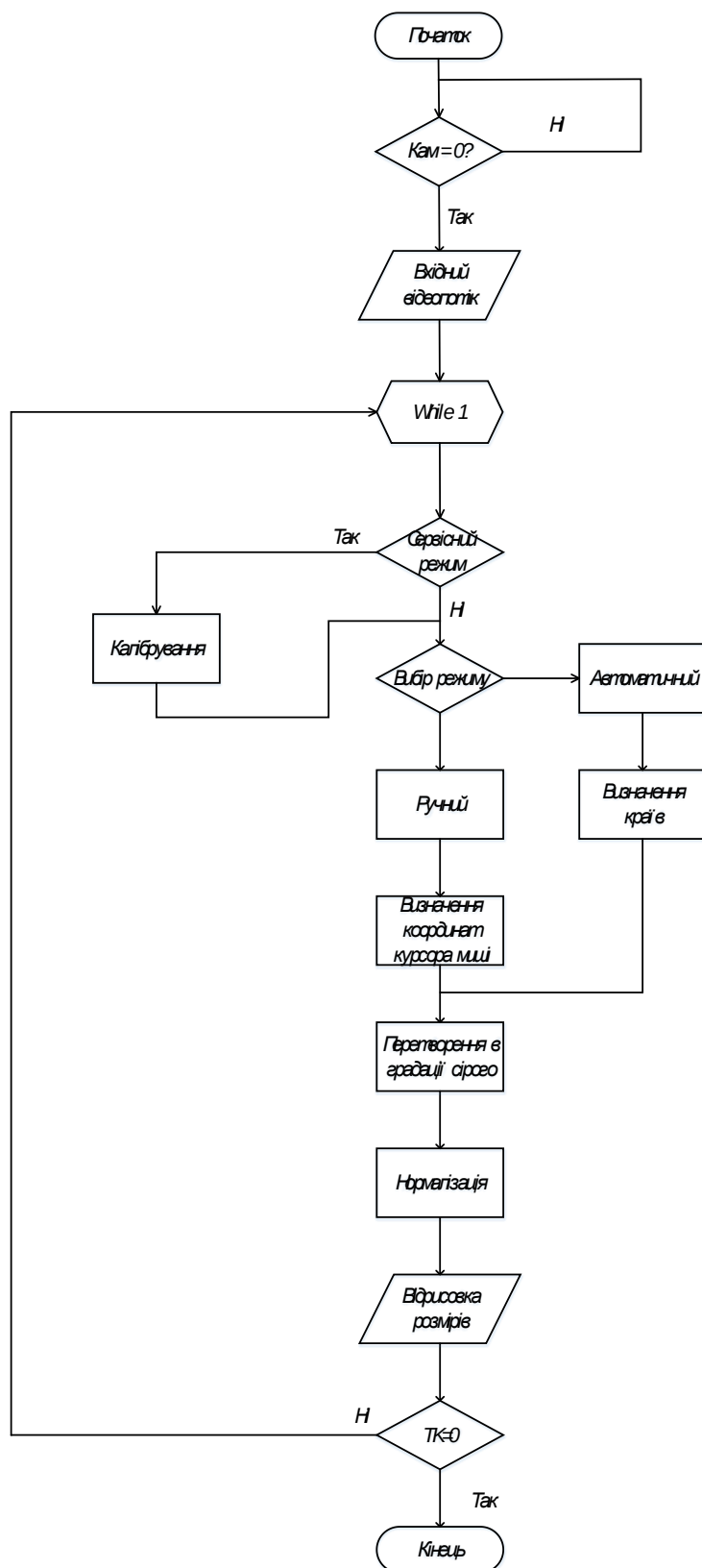


Рисунок 4.1: Алгоритм роботи програми

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Розглянемо детальніше цей алгоритм:

На старті програма перевіряє наявність камери на вході, за замовчуванням це значення 0, якщо програма не знаходить камеру за 0 адресою, вона автоматично перебирає інші 254 адреси за якими вона може знаходитись.

Після ініціалізації камери, програмне забезпечення запускається в ручному режимі роботи. За допомогою маніпулятора комп'ютерна миша відбувається виділення об'єкту вимірювання, в нашому випадку це деталь, і проставляються розміри відповідно до калібровки пристрою. При першому запуску значення не відповідають дійсності.

При виборі режиму калібровки, по діагоналям екрану з'являються полоси, за якими на робочому полі потрібно розмістити лінійку, і кожні 5 міліметрів проставити контрольні точки. Після цього процес налаштування пристрою буде завершений.

В автоматичному режимі за допомогою бібліотеки машинного зору OpenCV відбувається пошук об'єкту вимірювань і він виділяється прямокутником.

При кожному з виборів зпрацьовує функція відрисовування ліній та розмірів на екрані, а також допоміжної інформації. Інформація представлена на екрані являється кінцевою токою вимірювання. Для завершення роботи програми потрібно натиснути вказану клавішу. Також для автоматичного режиму додано кнопки нормалізації зображення та виставлення порогу, для більш точного детектування.

4.3 Реалізація програмного забезпечення

В данному пункті буде розглянуто програмну реалізацію основних частин системи:

Режим калібрування (рисунок 4.1):

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

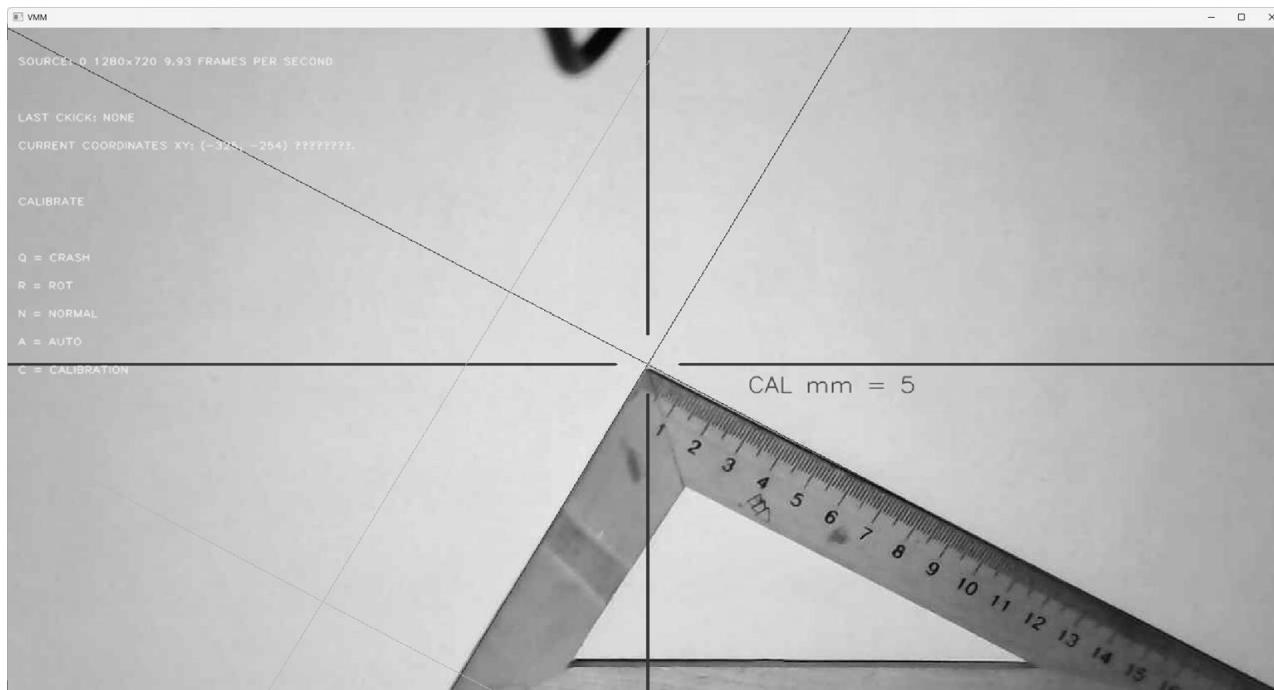


Рисунок 4.1: Демонстрація роботи режиму калібрування

Цей сервісний режим створено для того, щоб налаштувати систему і виставити потрібне співвідношення пікселів/мм. Код цього режиму представлено нижче:

```
if key_flags['config']:
    draw.crosshairs(frame0,5,weight=2,color='red',invert=True)
    draw.line(frame0,cx,cy, cx+cx, cy+cy,weight=1,color='red')
    draw.line(frame0,cx,cy, cx+cy, cy-cx,weight=1,color='red')
    draw.line(frame0,cx,cy,-cx+cx,-cy+cy,weight=1,color='red')
    draw.line(frame0,cx,cy, cx-cy, cy+cx,weight=1,color='red')
    mx,my = mouse_raw
    draw.line(frame0,mx,my,mx+dm,my+(dm*(
cy/cx)),weight=1,color='green')
    draw.line(frame0,mx,my,mx-dm,my-(dm*(
cy/cx)),weight=1,color='green')
    draw.line(frame0,mx,my,mx+dm,my+(dm*(-
cx/cy)),weight=1,color='green')
    draw.line(frame0,mx,my,mx-dm,my-(dm*(-
cx/cy)),weight=1,color='green')
    text.append('')
    text.append(f'CALIBRATE')
    if not cal_last:
        cal_last = cal_base
        caltext = f'CAL mm = {cal_last}'
    elif cal_last <= cal_range:
        if mouse_mark:
            cal_update(*mouse_mark,cal_last)
            cal_last += cal_base
            caltext = f'CAL mm = {cal_last}'
```

```

else:
    key_flags_clear()
    cal_last == None

    with open(calfile,'w') as f:
        data = list(cal.items())
        data.sort()
        for key,value in data:
            f.write(f'd,{key},{value}\n')
        f.close()
    caltext = f'OK'
draw.add_text(frame0,caltext,(cx)+100,(cy)+30,color='red')
mouse_mark = None

```

Режим ручного вимірювання (рисунок 4.2):

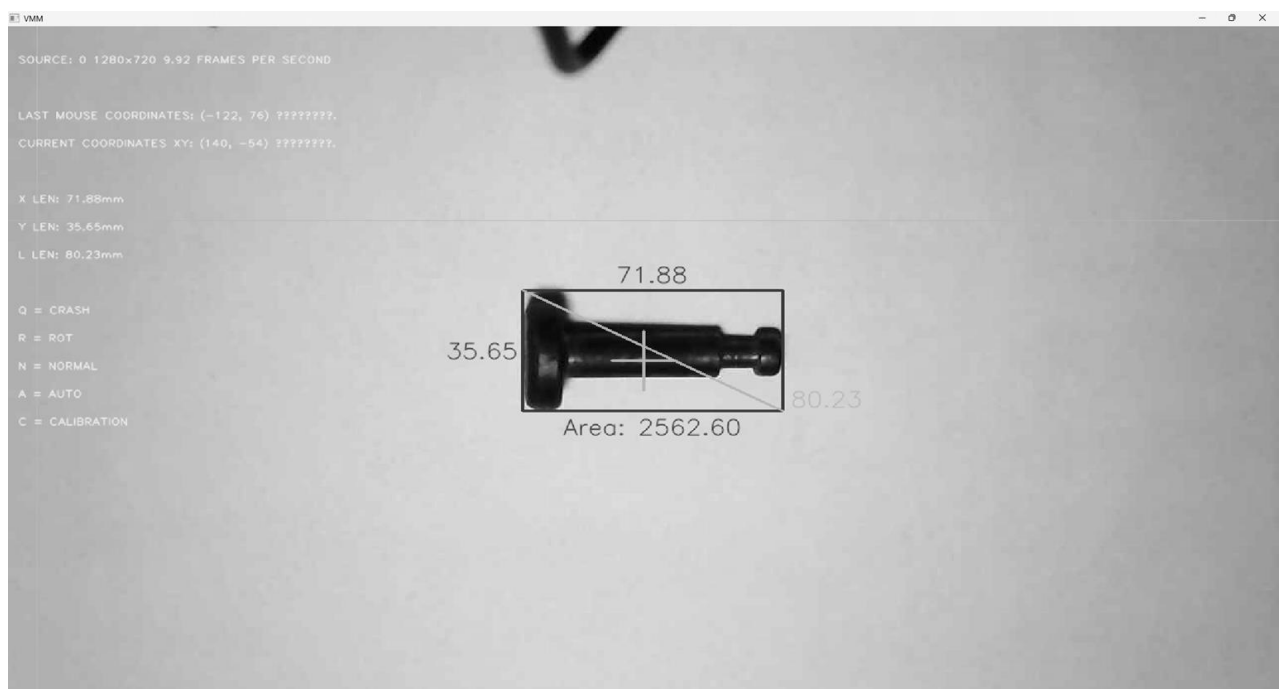


Рисунок 4.2: Демонстрація ручного режиму роботи

В цьому режимі оператор сам виділяє об'єкт, програмне забезпечення лише проставляє розміри відповідно до того як відкалібрований пристрій. Цей режим точніше визначає розміри з тією камерою яку було обрано. Код програми представлено нижче:

```

x1,y1 = mouse_mark
x2,y2 = mouse_now
x1c,y1c = conv(x1,y1)
x2c,y2c = conv(x2,y2)
xlen = abs(x1c-x2c)
ylen = abs(y1c-y2c)
llen = hypot(xlen,ylen)

```

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Адк.
						37
Зм.	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

```

alen = 0
if max(xlen,ylen) > 0 and min(xlen,ylen)/max(xlen,ylen) >=
0.95:
    alen = (xlen+ylen)/2
    carea = xlen*ylen
    x1 += cx
    x2 += cx
    y1 *= -1
    y2 *= -1
    y1 += cy
    y2 += cy
    x3 = x1+((x2-x1)/2)
    y3 = max(y1,y2)
    weight = 1
    if key_flags['lock']:
        weight = 2

```

Режим автоматичного вимірювання (рисунок 4.3):

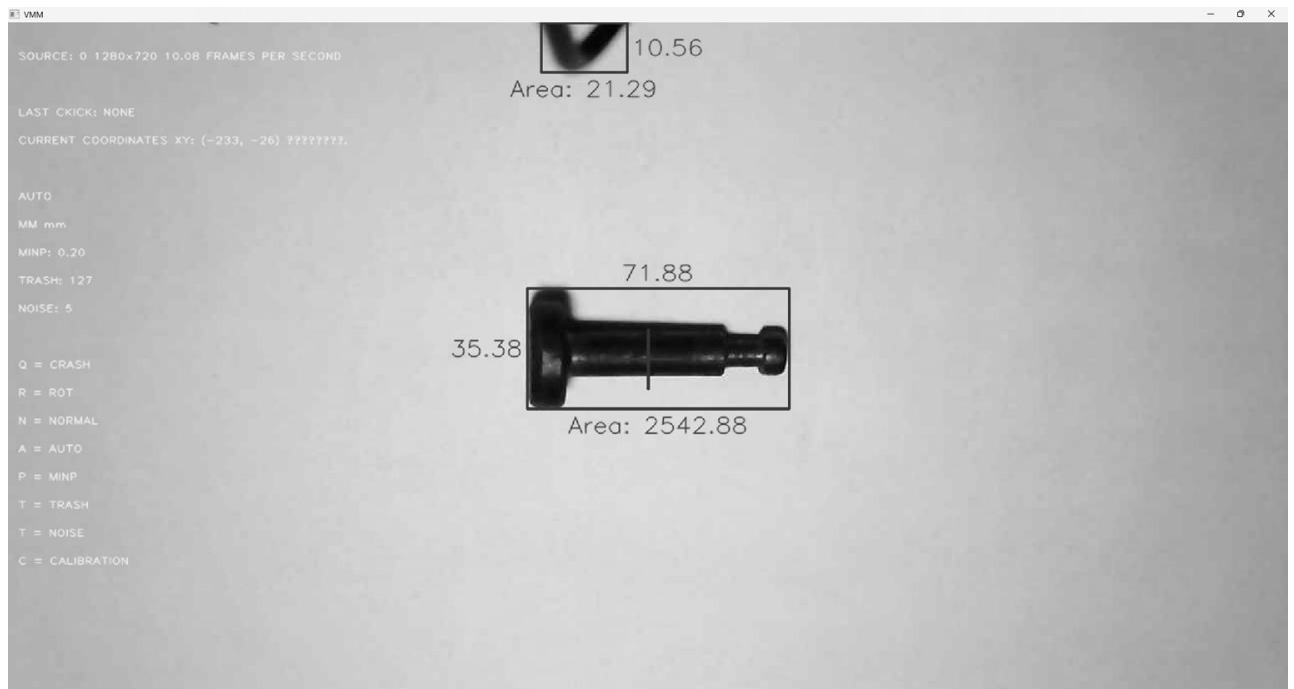


Рисунок 4.3: Демонстрація роботи автоматичного режиму

В цьому режимі пошук об'єкта і вимірювання відбувається в автоматичному режимі без участі оператора. Код програми представлено нижче:

```

frame1 = cv2.cvtColor(frame0,cv2.COLOR_BGR2GRAY
frame1 = cv2.GaussianBlur(frame1,(auto_blur,auto_blur),0
frame1 =
cv2.threshold(frame1,auto_threshold,255,cv2.THRESH_BINARY)[1]
frame1 = ~frame1

```

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Адк.
						38
Зм.	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

```

        contours,nada =
cv2.findContours(frame1,cv2.RETR_EXTERNAL,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
draw.crosshairs(frame0,5,weight=2,color='red')
for c in contours:
    x1,y1,w,h = cv2.boundingRect(c)
    x2,y2 = x1+w,y1+h
    x3,y3 = x1+(w/2),y1+(h/2)
    percent = 100*w*h/area
    if percent < auto_percent:
        continue
    elif percent > 60:
        continue
    x1c,y1c = conv(x1-(cx),y1-(cy))
    x2c,y2c = conv(x2-(cx),y2-(cy))
    xlen = abs(x1c-x2c)
    ylen = abs(y1c-y2c)
    alen = 0
    if max(xlen,ylen) > 0 and min(xlen,ylen)/max(xlen,ylen) >=
0.95:
        alen = (xlen+ylen)/2
        carea = xlen*ylen
        draw.rect(frame0,x1,y1,x2,y2,weight=2,color='red')
        draw.add_text(frame0,f'{xlen:.2f}',x1-((x1-
x2)/2),min(y1,y2)-8,center=True,color='red')
        draw.add_text(frame0,f'Area:
{carea:.2f}',x3,y2+8,center=True,top=True,color='red')
        if alen:
            draw.add_text(frame0,f'Avg:
{alen:.2f}',x3,y2+34,center=True,top=True,color='green')
            if x1 < width-x2:

draw.add_text(frame0,f'{ylen:.2f}',x2+4,(y1+y2)/2,middle=True,color='red')
            else:
                draw.add_text(frame0,f'{ylen:.2f}',x1-
4,(y1+y2)/2,middle=True,right=True,color='red')

```

Повний лістинг програми викладено в додатку А.

4.4 Інтерфейс користувача

Для взаємодії оператора і розроблюваної системи в програмі має бути зручний інтуїтивний інтерфейс. Його представлено на рисунку нижче, а також макет інтерфейсу буде у додатках.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Для зручності було забезпечено виведення джерела відеопотоку, кількість кадрів за секунду, а також роздільну здатність вхідного відеопотоку (виділено червоним під літерою А).

Нижче виводяться координати курсора, актуальні і попередні, виведення цих значень забезпечують повторюваність вимірів в ручному режимі, якщо положення деталі на робочому полі не змінювалось (виділено жовтим під літерою В).

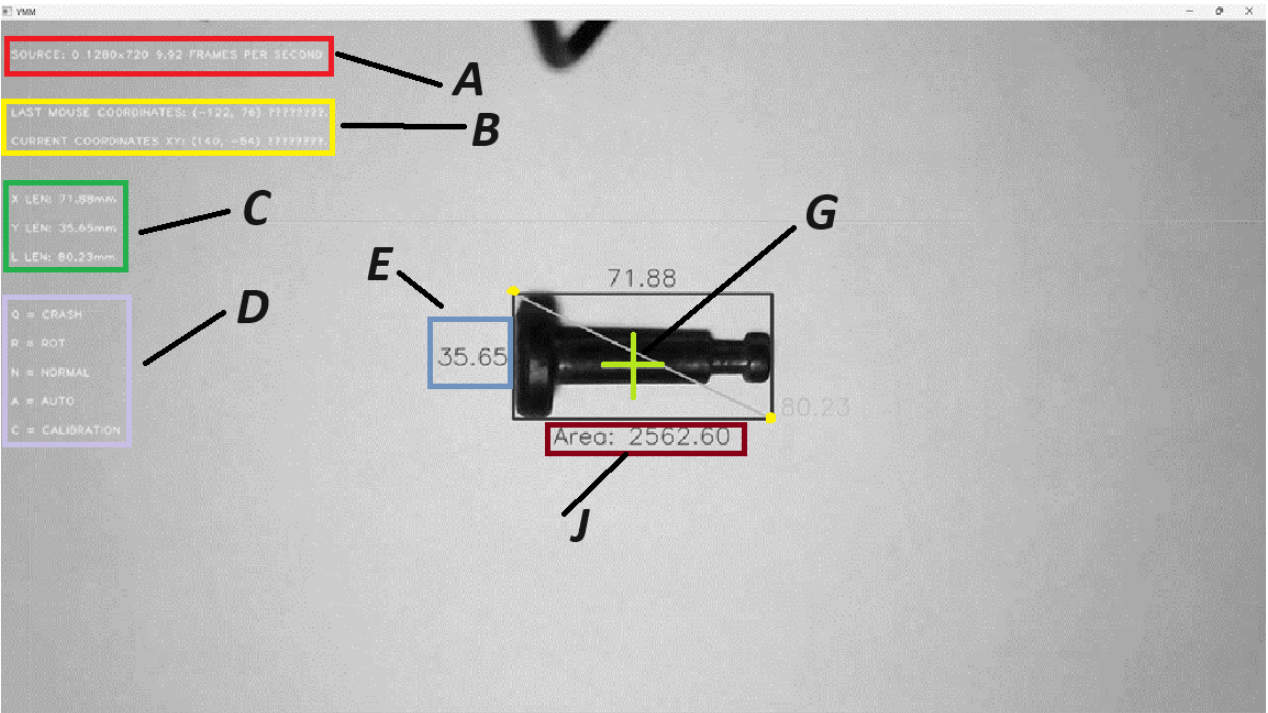


Рисунок 4.4: Інтерфейс оператора

Далі іде інформація про обраховане значення довжини по вертикалі та горизонталі, а також діагональна довжина (виділено зеленим під літерою С).

Фіолетовим кольором було виділено меню управління (D) в якому можна обрати альтернативний режим роботи (автоматичний або сервісний для калібровки), нормалізувати зображення в залежності від освітлення, повернути зображення або завершити роботу.

Під літерами Е та J виділено синім та багровим кольором відповідно позначаються значення розмірів на які оператор має дивитись в першу чергу, це і є фінальна інформація яку він має бачити, також для зручності

обраховується площа тієї сукупності пікселів в яку входить зображення деталі, цю інформацію можна застосувати наприклад на конвеєрі, для виявлення відхилень в розмірах попадаючих туди об'єктів.

Літера G позначає перекрестя в межі якого повинен попасти об'єкт вимірювання для більш точного визначення розмірів. Ближче до країв через викривлення які вносить об'єктив, об'єкт витягується і розміри показуються некоректно.

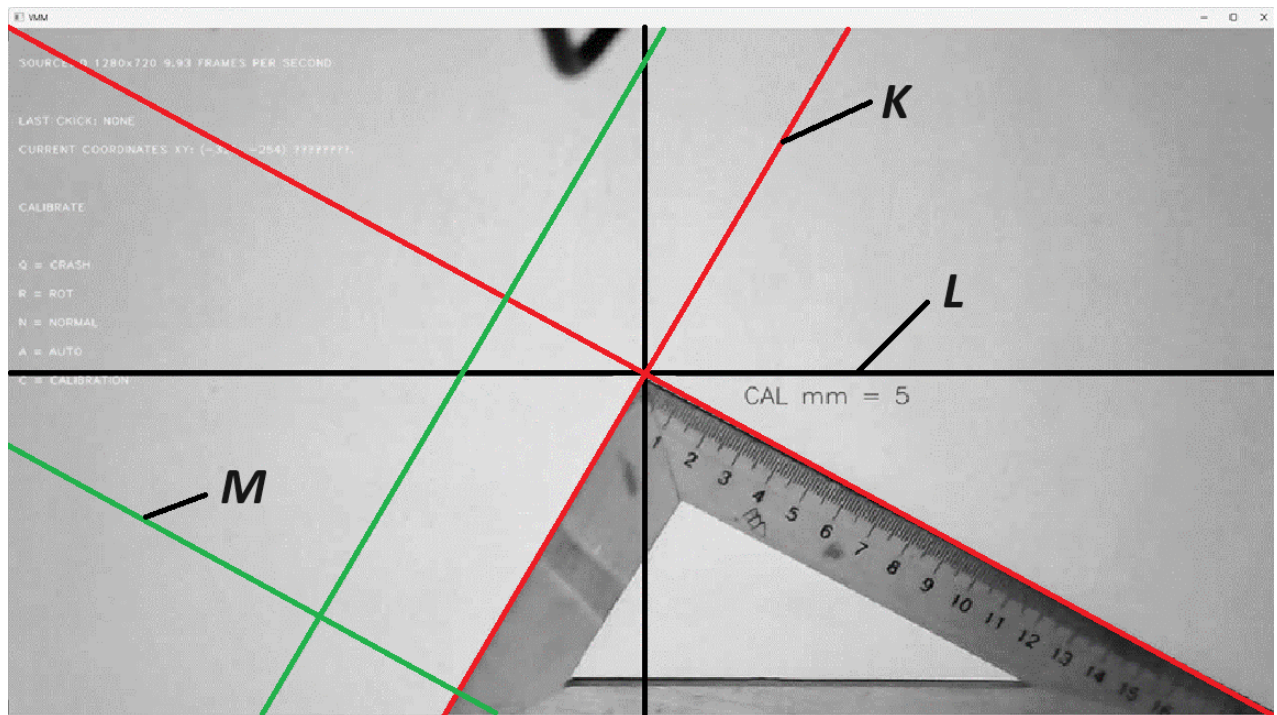


Рисунок 4.5: Інтерфейс оператора – режим калібрування

Під літерами K та L позначено направляючі, використовуючі які потрібно виставити об'єкт розміри якого відомо зарання (це згадувалось у розділі 2), в нашому випадку це лінійка, і за допомогою курсора M потрібно кожні 5 міліметрів реального об'єкта проставити мітки на екрані.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		41

5. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ

Для того щоб оцінити надійність системи потрібно визначити наступні показники:

- ймовірність безвідмовної роботи системи на заданий час;
- параметр потоку відмов;
- середнє напрацювання до відмови.

З загальноприйнятого тлумачення словосполучення надійність системи, потрібно вважати що:

Надійність системи – властивість технічних та нетехнічних об'єктів зберігати значення всіх параметрів даної системи, які характеризують здатність виконувати свої функції в заданих режимах, та умовах експлуатації.

Ймовірність безвідмовної роботи це ймовірність яка вираховується з того факту, що в межах певного періоду часу відмова пристрою не відбудеться.

Відмова – це подія, що виникає внаслідок порушення працездатного стану об'єкта.

Інтенсивність відмов – це сума ймовірностей появи відмов.

Середнє напрацювання до відмови – це математична величина, а саме очікування напрацювання об'єкта до її першої відмови.

Виріб використовується в таких умовах:

- температура навколишнього середовища $+20^{\circ}\text{C}$;
- вологість повітря 80%;
- призначений для роботи в закритому приміщенні.

Відмовою системи буде вважатись відмова будь-якої складової системи, що приводить до порушення роботоздатності і неможливості подальшого використання за прямим призначенням. Відновлення роботи складових системи вирішується шляхом заміни відмовившої частини.

Поток відмовлення системи буде розраховано за наступною формулою (5.1):

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i \quad (5.1)$$

де n – загальне число групи критеріїв відмови, що входять до складу проектованого виробу, $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень i -ї групи відповідно.

Інтенсивність відмови визначається за формулою (5.2).

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n \quad (5.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень в номінальному режимі і нормальних умовах, $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи, електричне навантаження і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Формули по яких визначалася інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 5.1. Величини визначалися по довідковим даним з врахування специфіки проектованого виробу.

За формулою 5.1 отримуємо потік відмовлень виробу:

$$\Lambda = 96.29 * 10^{-6} \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи протягом часу визначалась за формулою (5.3):

$$P(t) = e^{-\Lambda t} \quad (5.3)$$

Таблиця 5.2 – Ймовірність безвідмовної роботи протягом часу t

100	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0.9904	0.9530	0.9303	0.9082	0.8248	0.6179	0.4529	0.3818

Середній наробіток до відмовлення виробу визначається по формулі 5.4:

$$T_0 = \Lambda^{-1} \quad (5.4)$$

Підставивши значення в формулу одержимо наступне:

$$T_0 = (96.29 * 10^{-6})^{-1} = 10385 \text{ год}$$

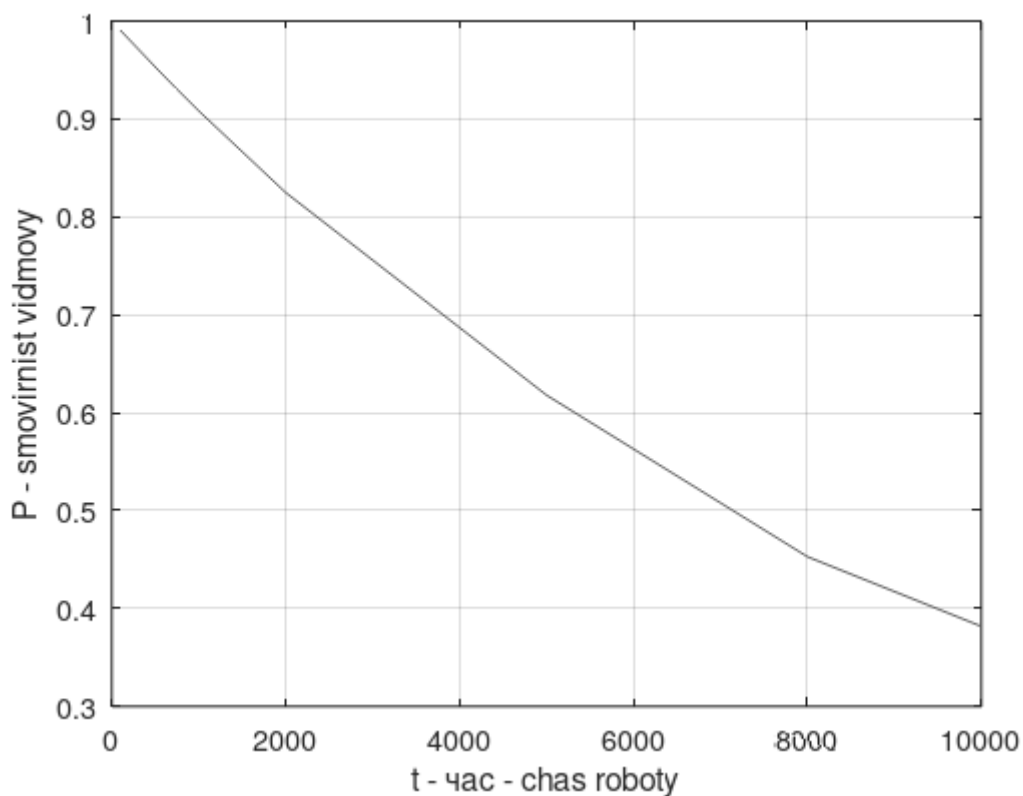


Рисунок 5.1: Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Таблиця 5.1 – Ймовірність відмов по групам приладів

Поз.	Найменування	Кіл.	λ_{i0} * 10 ⁶ год ⁻¹	Формула	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i$ * 10 ⁶ год ⁻¹
					a_1	a_2	a_3	a_4	
Orange Pi LTS									
1	Конденсатори								
	C050-024X044	11	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	1,7	0,8	1,3	1	0,0924
	E2,5-6	1	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	1,7	0,8	1,3	1	0.0336
2	Резистори								
	0204V	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	1,7	0,8	1,3	1	0.02688
	0204/5	5	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	1,7	0,8	1,3	1	0,06720
3	Мікросхеми								
	Alwinner H2+	1	2,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	1,7	0,8	1,3	1	4.641
	74HC02	1	2,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	1,7	0,8	1,3	1	4.641
	74HC08	1	2,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	1,7	0,8	1,3	1	4.641
	74HC151	1	2,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	1,7	0,8	1,3	1	4.641
	74HC161	1	2,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	1,7	0,8	1,3	1	4.641
	74HC86	1	2,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	1,7	0,8	1,3	1	4.641
	74HCT125	1	2,1	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	1,7	0,8	1,3	1	4.641

4	Кварцовий резонатор								
	QS	1	0,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	1,7	0,8	1,3	1	0,42
5	Пайка	171	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	1,7	0,8	1,3		0,035
6	Роз'єми	6	0,01	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	1,7	0,8	1,3	1	0,126
7	Блок живлення	1	6.3			0,8	1,3	1	63
8	Камера	1	0.01	λ_0	1.7	0,8	1,3	1	0.01
	Разом								96.29

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

6. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

6.1 Об'єкт вимірювання

Для того щоб оцінити точність системи потрібно зробити декілька серій вимірювань. Для цього було обрано деталь (рисунок 6.1), яку було виміряно в ручному режимі, та в автоматичному режимі.

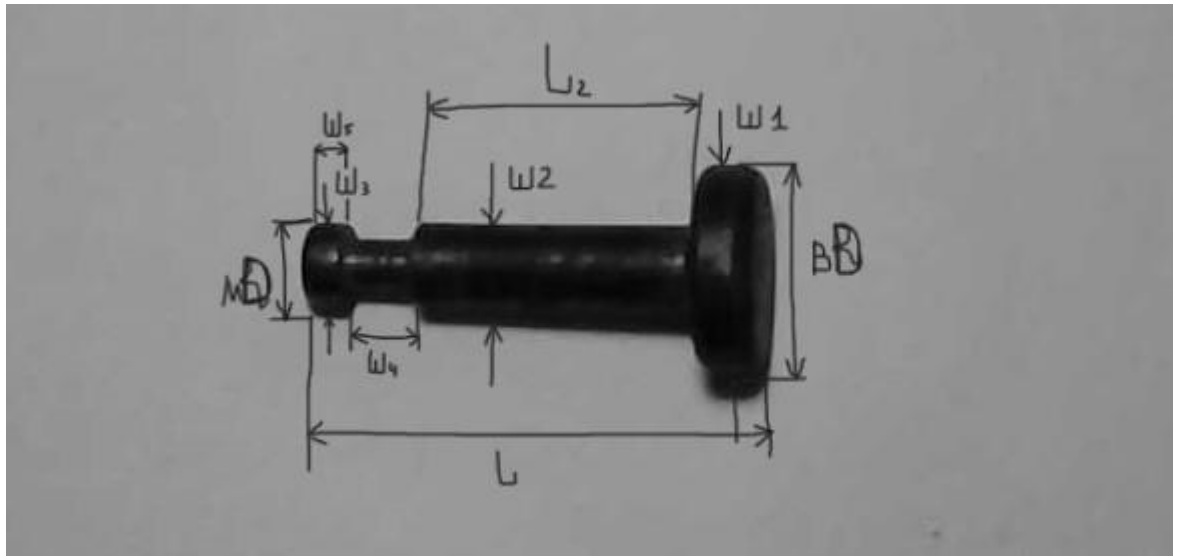


Рисунок 6.1: Деталь яку було виміряно

Відповідно до рис 6.1 було введено наступні позначення:

- L = загальна довжина деталі;
- $L2$ = довжина штока клапана;
- mD = діаметр меншої частини клапана;
- vD = діаметр більшої частини клапана;
- $\text{Ш}1$ = ширина більшої частини клапана(в ідеалі має бути рівною більшому діаметру);
- $\text{Ш}2$ = ширина штока клапана;
- $\text{Ш}3$ = ширина меншої частини клапана(в ідеалі має бути рівною меншому діаметру);
- $\text{Ш}4$ = ширина звуження штока клапана;
- $\text{Ш}5$ = висота меншої частини;
- Для автоматичного режиму було використано лише $L1$ та $\text{Ш}1$.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

Істинні розміри представлено в таблиці 6.1. *Одиниця вимірювань – мм.*

Таблиця 6.1 – Істинні розміри клапана

L1	L2	mD	vD	Ш1	Ш2	Ш3	Ш4	Ш5
60	34	10	26	26	13	10	10	5

6.2 Розрахунок похибки вимірювань для ручного режиму

В результаті вимірів в ручному режимі було отримано наступну вибірку даних:

Таблиця 6.2 – Вимірювання в ручному режимі

L1	L2	mD	vD	Ш1	Ш2	Ш3	Ш4	Ш5
60,12	34,16	10,07	26,04	26,08	13,04	10,02	10,09	5,23
60,01	34,18	10,00	26,04	26,03	13,08	10,08	10,06	5,12
60,25	34,03	10,08	26,08	26,05	13,06	10,03	10,04	5,07
60,18	34,18	10,09	26,08	26,07	13,06	10,05	10,05	5,12
60,08	34,13	10,07	26,02	26,09	13,09	10,02	10,04	5,03
60,29	34,02	10,08	26,05	26,10	13,03	10,06	10,01	5,04
60,14	34,06	10,07	26,04	26,05	13,08	10,03	10,02	5,28
60,06	34,11	10,04	26,06	26,01	13,08	10,07	10,01	5,29
60,22	34,19	10,07	26,07	26,01	13,04	10,07	10,02	5,17
60,17	34,19	10,02	26,08	26,03	13,06	10,07	10,02	5,02
60,11	34,03	10,07	26,03	26,08	13,01	10,05	10,04	5,07
60,28	34,19	10,00	26,07	26,03	13,01	10,01	10,01	5,11
60,03	34,19	10,03	26,07	26,08	13,05	10,02	10,09	5,25
60,19	34,10	10,00	26,02	26,02	13,08	10,09	10,09	5,00
60,07	34,16	10,01	26,01	26,09	13,09	10,02	10,05	5,01
60,27	34,03	10,08	26,05	26,04	13,01	10,08	10,05	5,05
60,15	34,08	10,07	26,10	26,02	13,06	10,05	10,03	5,19
60,02	34,18	10,03	26,03	26,03	13,05	10,10	10,09	5,22
60,24	34,16	10,10	26,06	26,06	13,00	10,01	10,04	5,19
60,13	34,19	10,00	26,02	26,05	13,03	10,04	10,01	5,14

Для розрахунку метрологічних характеристик було застосовано наступні розрахунки:

Визначення абсолютних похибок (6.1).

$$\Delta x_i = x_i - \mu \quad (6.1)$$

де Δx_i – абсолютна похибка вимірювання,

x_i – виміряне значення,

μ – істинне значення

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат.		

Визначення відносної похибки (6.2).

$$\delta = \frac{\Delta x_i}{\mu} * 100 \quad (6.2)$$

Визначення середнього арифметичного (6.3).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \quad (6.3)$$

Визначення дисперсії (6.4).

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (6.4)$$

Визначення стандартного відхилення окремого визначення (6.5).

$$S_x = \sqrt{S^2} \quad (6.5)$$

Визначення відносного стандартного відхилення (6.6).

$$S_r = \frac{S_x}{\mu} \quad (6.6)$$

Визначення стандартного відхилення середнього результату (6.7).

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (6.7)$$

Визначення найбільш ймовірної помилки визначення (6.8).

$$\Delta \bar{x} = S_{\bar{x}} * t_{pf} \quad (6.8)$$

де t_{pf} – розподілення або коефіцієнт Стюдента

Визначення довірчого інтервалу (6.9).

$$\bar{x} \pm \Delta \bar{x} = \bar{x} \pm S_{\bar{x}} * \frac{t}{\sqrt{n}} \quad (6.9)$$

Визначення похибки визначення по конкретній методиці (6.10).

$$\gamma = \frac{\Delta \bar{x} * 100}{\mu} \quad (6.10)$$

Результати розрахунків буде представлено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків метрологічних характеристик

L1	L2	mD	vD	III1	III2	III3	III4	III5
60,12	34,16	10,07	26,04	26,08	13,04	10,02	10,09	5,23
60,01	34,18	10,00	26,04	26,03	13,08	10,08	10,06	5,12
60,25	34,03	10,08	26,08	26,05	13,06	10,03	10,04	5,07
60,18	34,18	10,09	26,08	26,07	13,06	10,05	10,05	5,12

					МММТ 480.010.012 - ПЗ			Арк.
								48
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат				

60,08	34,13	10,07	26,02	26,09	13,09	10,02	10,04	5,03
60,29	34,02	10,08	26,05	26,10	13,03	10,06	10,01	5,04
60,14	34,06	10,07	26,04	26,05	13,08	10,03	10,02	5,28
60,06	34,11	10,04	26,06	26,01	13,08	10,07	10,01	5,29
60,22	34,19	10,07	26,07	26,01	13,04	10,07	10,02	5,17
60,17	34,19	10,02	26,08	26,03	13,06	10,07	10,02	5,02
60,11	34,03	10,07	26,03	26,08	13,01	10,05	10,04	5,07
60,28	34,19	10,00	26,07	26,03	13,01	10,01	10,01	5,11
60,03	34,19	10,03	26,07	26,08	13,05	10,02	10,09	5,25
60,19	34,10	10,00	26,02	26,02	13,08	10,09	10,09	5,00
60,07	34,16	10,01	26,01	26,09	13,09	10,02	10,05	5,01
60,27	34,03	10,08	26,05	26,04	13,01	10,08	10,05	5,05
60,15	34,08	10,07	26,10	26,02	13,06	10,05	10,03	5,19
60,02	34,18	10,03	26,03	26,03	13,05	10,10	10,09	5,22
60,24	34,16	10,10	26,06	26,06	13,00	10,01	10,04	5,19
60,13	34,19	10,00	26,02	26,05	13,03	10,04	10,01	5,14

Середнє значення

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n}$$

60,15	34,13	10,05	26,05	26,05	13,05	10,05	10,04	5,13
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Абсолютні похибки

$$\Delta x_i = x_i - \mu$$

0,12	0,16	0,07	0,04	0,08	0,04	0,02	0,09	0,23
0,01	0,18	0,00	0,04	0,03	0,08	0,08	0,06	0,12
0,25	0,03	0,08	0,08	0,05	0,06	0,03	0,04	0,07
0,18	0,18	0,09	0,08	0,07	0,05	0,05	0,05	0,12
0,08	0,13	0,07	0,02	0,09	0,09	0,02	0,04	0,03
0,29	0,02	0,08	0,05	0,10	0,03	0,06	0,01	0,04
0,14	0,06	0,07	0,04	0,05	0,08	0,03	0,02	0,28
0,06	0,11	0,04	0,06	0,01	0,08	0,07	0,01	0,29
0,22	0,19	0,07	0,07	0,01	0,04	0,07	0,02	0,17
0,17	0,19	0,02	0,08	0,03	0,06	0,07	0,02	0,02
0,11	0,03	0,07	0,03	0,08	0,01	0,05	0,04	0,07
0,28	0,19	0,00	0,07	0,03	0,01	0,01	0,01	0,11
0,03	0,19	0,03	0,07	0,08	0,05	0,02	0,09	0,25
0,19	0,10	0,00	0,02	0,02	0,08	0,09	0,09	0,00
0,07	0,16	0,01	0,01	0,09	0,09	0,02	0,05	0,01
0,27	0,03	0,08	0,05	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05
0,15	0,08	0,07	0,10	0,02	0,06	0,05	0,03	0,19
0,02	0,18	0,03	0,03	0,03	0,05	0,10	0,09	0,22
0,24	0,16	0,10	0,06	0,06	0,00	0,01	0,04	0,19
0,13	0,19	0,00	0,02	0,05	0,03	0,04	0,01	0,14

Квадрати

$$\Delta x_i^2 = (x_i - \mu)^2$$

0,0144	0,0265	0,0043	0,0019	0,0056	0,0012	0,0003	0,0073	0,0548
0,0001	0,0328	0,0000	0,0015	0,0007	0,0069	0,0063	0,0039	0,0137
0,0625	0,0006	0,0072	0,0059	0,0026	0,0034	0,0010	0,0012	0,0053
0,0324	0,0334	0,0087	0,0063	0,0049	0,0030	0,0028	0,0026	0,0147
0,0064	0,0160	0,0046	0,0003	0,0079	0,0084	0,0003	0,0016	0,0008
0,0841	0,0004	0,0057	0,0024	0,0092	0,0008	0,0036	0,0001	0,0016

					МММТ 480.010.012 - ПЗ			Арк.
								49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				

0,0196	0,0031	0,0055	0,0020	0,0030	0,0057	0,0007	0,0006	0,0799
0,0036	0,0120	0,0015	0,0042	0,0002	0,0057	0,0043	0,0002	0,0823
0,0484	0,0367	0,0043	0,0050	0,0002	0,0014	0,0047	0,0003	0,0298
0,0289	0,0372	0,0003	0,0057	0,0007	0,0032	0,0056	0,0006	0,0003
0,0121	0,0010	0,0050	0,0008	0,0071	0,0001	0,0020	0,0017	0,0050
0,0784	0,0377	0,0000	0,0046	0,0006	0,0000	0,0001	0,0000	0,0112
0,0009	0,0366	0,0008	0,0043	0,0066	0,0028	0,0005	0,0082	0,0607
0,0361	0,0094	0,0000	0,0003	0,0006	0,0061	0,0083	0,0089	0,0000
0,0049	0,0256	0,0001	0,0001	0,0086	0,0087	0,0002	0,0024	0,0002
0,0729	0,0008	0,0068	0,0025	0,0012	0,0002	0,0068	0,0024	0,0026
0,0225	0,0071	0,0048	0,0092	0,0004	0,0032	0,0029	0,0011	0,0379
0,0004	0,0335	0,0010	0,0012	0,0006	0,0022	0,0099	0,0081	0,0482
0,0576	0,0251	0,0090	0,0034	0,0038	0,0000	0,0001	0,0014	0,0378
0,0169	0,0368	0,0000	0,0005	0,0022	0,0011	0,0020	0,0001	0,0183

Відносні похибки

$$\delta = \frac{\Delta x_i}{\mu} * 100$$

0,20	0,48	0,65	0,17	0,29	0,27	0,16	0,85	4,56
0,02	0,53	0,04	0,15	0,10	0,64	0,79	0,62	2,28
0,42	0,07	0,84	0,29	0,19	0,45	0,31	0,35	1,41
0,30	0,54	0,93	0,31	0,27	0,42	0,53	0,51	2,36
0,13	0,37	0,68	0,07	0,34	0,70	0,17	0,40	0,56
0,48	0,06	0,75	0,19	0,37	0,22	0,60	0,08	0,77
0,23	0,16	0,74	0,17	0,21	0,58	0,26	0,24	5,51
0,10	0,32	0,39	0,25	0,05	0,58	0,65	0,12	5,59
0,37	0,56	0,65	0,27	0,06	0,29	0,69	0,18	3,36
0,28	0,57	0,17	0,29	0,10	0,44	0,74	0,24	0,35
0,18	0,09	0,70	0,11	0,32	0,06	0,45	0,42	1,37
0,47	0,57	0,03	0,26	0,10	0,04	0,08	0,05	2,06
0,05	0,56	0,28	0,25	0,31	0,41	0,23	0,90	4,80
0,32	0,28	0,05	0,06	0,09	0,60	0,91	0,94	0,09
0,12	0,47	0,10	0,05	0,36	0,72	0,15	0,49	0,25
0,45	0,08	0,82	0,19	0,13	0,10	0,82	0,49	0,99
0,25	0,25	0,69	0,37	0,08	0,44	0,54	0,34	3,80
0,03	0,54	0,32	0,13	0,10	0,36	0,99	0,90	4,28
0,40	0,46	0,95	0,22	0,24	0,01	0,08	0,37	3,79
0,22	0,56	0,03	0,09	0,18	0,26	0,44	0,11	2,64

Дисперсія

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

0,0317	0,0217	0,0037	0,0033	0,0035	0,0034	0,0033	0,0028	0,0266
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Стандартне відхилення окремого визначення

$$S_x = \sqrt{S^2}$$

0,18	0,15	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,16
------	------	------	------	------	------	------	------	------

Відносне стандартне відхилення

$$S_r = \frac{S_x}{\mu}$$

0,0030	0,0043	0,0061	0,0022	0,0023	0,0045	0,0057	0,0053	0,0326
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Стандартне відхилення середнього результату

					МММТ 480.010.012 - ПЗ				Адк.
									50
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат					

$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$								
0,0398	0,0329	0,0135	0,0128	0,0133	0,0130	0,0128	0,0118	0,0364
Найбільш ймовірна помилка визначення $\Delta \bar{x} = S_{\bar{x}} * t_{pf}, t_{pf} = 2.08$ при $p = 0,95$								
0,0833	0,0689	0,0283	0,0267	0,0277	0,0272	0,0268	0,0246	0,0762
Похибка визначення по конкретній методиці $\gamma = \frac{\Delta \bar{x} * 100}{\mu}$								
0,1899	0,2771	0,3875	0,1406	0,1458	0,2863	0,3665	0,3368	2,0849

Довірчі інтервали вийшли наступні:

Для L1 $60,15 \pm 0.083 = 60.15 \pm 0.083$,

Для L2 $34.14 \pm 0.068 = 34.14 \pm 0.068$,

Для mD $10.05 \pm 0.028 = 10.05 \pm 0.028$,

Для vD $26,05 \pm 0.028 = 26.06 \pm 0.028$,

Для Ш1 $26,05 \pm 0.027 = 26.06 \pm 0.027$,

Для Ш2 $13.05 \pm 0.026 = 13.05 \pm 0.026$,

Для Ш3 $10.05 \pm 0.026 = 10.05 \pm 0.026$,

Для Ш4 $10.04 \pm 0.025 = 10.04 \pm 0.025$,

Для Ш5 $5.13 \pm 0.08 = 5.13 \pm 0.08$.

З даних розрахунків можна зробити висновок що середнє значення вимірювань входить в довірчий інтервал для кожного набору даних, що дає нам право вважати, що розрахунки зроблені правильно. Також простежується чітка повторюваність результатів, що дає нам право говорити про точність пристрою близько 0.1 мм при умові що вимірювання відбуваються в ручному режимі. Відносна похибка при вимірюванні не перевищує 1%, за виключенням розрахунків за набором даних Ш5, там похибка може сягати вище 5%, що являється недопустим, адже перевищує поріг в 5%, тому вимірювати частини деталей розміром до 5 мм не рекомендовано.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ			Адк.
								51
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат				

6.3 Розрахунок похибки вимірювань для автоматичного режиму.

В результаті вимірів в автоматичному режимі було отримано вибірку даних і обраховно характеристики. Це все представлено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 - Результати розрахунків метрологічних характеристик

L1	L2
63,83	31,60
66,94	28,27
67,24	28,22
64,70	28,48
66,54	27,86
66,27	29,31
68,38	28,68
67,74	28,77
68,08	27,86
67,09	27,98
66,74	27,85
66,80	29,73
67,30	28,20
64,95	28,82
66,81	28,53
65,87	29,33
67,08	28,53
65,93	29,31
67,51	28,13
67,26	29,29
Середнє значення $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n}$	
66,65	28,44
Абсолютні похибки $\Delta x_i = x_i - \mu$	
3,83	5,60
6,94	2,27
7,24	2,22
4,70	2,48
6,54	1,86
6,27	3,31
8,38	2,68
7,74	2,77
8,08	1,86
7,09	1,98
6,74	1,85
6,80	3,73
7,30	2,20
4,95	2,82
6,81	2,53
5,87	3,33

7,08	2,53
5,93	3,31
7,51	2,13
7,26	3,29
Квадрати $\Delta x_i^2 = (x_i - \mu)^2$	
14,6689	31,3600
48,1636	5,1529
52,4176	4,9284
22,0900	6,1504
42,7716	3,4596
39,3129	10,9561
70,2244	7,1824
59,9076	7,6729
65,2864	3,4596
50,2681	3,9204
45,4276	3,4225
46,2400	13,9129
53,2900	4,8400
24,5025	7,9524
46,3761	6,4009
34,4569	11,0889
50,1264	6,4009
35,1649	10,9561
56,4001	4,5369
52,7076	10,8241
Відносні похибки $\delta = \frac{\Delta x_i}{\mu} * 100$	
5,75	19,69
10,41	7,98
10,86	7,81
7,05	8,72
9,81	6,54
9,41	11,64
12,57	9,42
11,61	9,74
12,12	6,54
10,64	6,96
10,11	6,50
10,20	13,12
10,95	7,74
7,43	9,92
10,22	8,90
8,81	11,71
10,62	8,90
8,90	11,64
11,27	7,49
10,89	11,57

Дисперсія $S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$	
47,8844	8,6620
Стандартне відхилення окремого визначення $S_x = \sqrt{S^2}$	
6,92	2,94
Відносне стандартне відхилення $S_r = \frac{S_x}{\mu}$	
0,1153	0,1132
Стандартне відхилення середнього результату $S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$	
1,5473	0,6581
Найбільш ймовірна помилка визначення $\Delta \bar{x} = S_{\bar{x}} * t_{pf}, t_{pf} = 2.08 \text{ при } p = 0,95$	
3,2339	1,3754
Похибка визначення по конкретній методиці $\gamma = \frac{\Delta \bar{x} * 100}{\mu}$	
5,3899	5,2901

Отримуємо довірчі інтервали:

Для L1 $66,65 \pm 3.23 = 66.65 \pm 3,23$,

Для L2 $28.44 \pm 1.37 = 28.44 \pm 1.37$

З отриманих результатів можна зробити висновок, що розрахунки зроблені правильно, але точність вимірювання не забезпечується. Дана поведінка системи викликана тим, що обрана камера має не дуже світочутливу матрицю, а тому система не може конкретно відділити тінь яку дає деталь на робочу поверхню, від контурів деталі. Щоб підвищити точність цього режиму потрібна інша камера, з більшою світочутливістю. Хоч автоматичний режим і не дає нам точність в 5%, він дає можливість в автоматичному режимі отримати приблизне поняття оператора про розмір досліджуваного об'єкту.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

7. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Охорона праці

Охорона праці -- це набір заходів та нормативів, які мають на меті забезпечити безпеку та здоров'я співробітників у процесі їх роботи. Головна ціль цих заходів -- уникнення інцидентів, професійних хвороб та інших негативних впливів, що можуть статися на робочому місці.

В рамках охорони праці виокремлюють такі ключові аспекти:

– Виявлення та аналіз ризиків: Ідентифікація можливих загроз та оцінка їх імовірностей, що включає дослідження умов праці, створення безпекових процедур та інструкцій.

– Попередження аварій: Розробка безпечних методик роботи та створення безпечних умов, використання обладнання, яке виключає ризик, правильне збереження та транспортування матеріалів, освіта співробітників у сфері безпеки.

– Медичне спостереження: Забезпечення регулярних медичних перевірок, виявлення та лікування профзахворювань, надання першої медичної допомоги при необхідності.

– Освітньо-тренувальні програми: Організація тренувань з питань охорони праці для співробітників, інформування про можливості ризику, навчання правилам безпеки.

– Законодавче забезпечення: Розробка законодавчих актів та стандартів у сфері охорони праці, які включають критерії для робочого середовища, обладнання, організації робочого процесу та обов'язкових заходів безпеки.

Охорона праці є ключовим елементом будь-якої роботи, адже вона допомагає забезпечити безпеку співробітників і зменшує ризик втрат для підприємств через нещасні випадки чи хвороби.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Дрк.
						55
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		

7.2 Безпека життєдіяльності

В ході роботи машинобудівного підприємства, заходи з охорони праці при роботі з засобами відеовимірювальної техніки можуть включати наступні:

Оцінка ризиків: Проведення оцінки ризиків, пов'язаних з використанням засобів відеовимірювальної техніки. Це допоможе ідентифікувати можливі небезпеки, пов'язані з їх використанням, і прийняти необхідні заходи для зниження ризиків.

Освіта та навчання: Надання належного навчання працівникам щодо безпечного використання засобів відеовимірювальної техніки. Це включає навчання з правильного використання, калібрування, установки та обслуговування цих засобів.

Захисне обладнання: Забезпечення відповідного захисного обладнання для працівників, які працюють з засобами відеовимірювальної техніки. Це можуть бути захисні окуляри, рукавиці, захисні наколінники або інші засоби захисту, які необхідно використовувати відповідно до конкретних умов роботи.

Правильне установлення та використання: Виконання інструкцій виробника щодо правильної установки, використання і зберігання засобів відеовимірювальної техніки. Це може включати правильне підключення, застосування техніки безпеки при роботі з цими засобами та виконання перевірок перед використанням.

Регулярне обслуговування та перевірка: Проведення регулярного технічного обслуговування і калібрування засобами вимірювальної техніки, щоб забезпечити їх точність і надійність. Регулярні перевірки дозволяють виявити можливі несправності і забезпечити безпечну роботу з цими засобами.

Запобігання ураженням електричним струмом: При роботі з електронними засобами відеовимірювальної техніки, слід дотримуватись правил безпеки щодо електричної безпеки. Необхідно використовувати

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

заземлену розетку, уникати контакту з електричними частинами при підключенні або обслуговуванні засобів вимірювання.

Відповідність нормативним вимогам: Забезпечення відповідності засобів відеовимірювальної техніки національним та міжнародним нормативним вимогам безпеки та калібрування. Це включає періодичну перевірку та повірку засобів вимірювання у визначених лабораторіях. Важливо зазначити, що конкретні заходи з охорони праці можуть варіюватись залежно від типу інженерних робіт, контексту та вимог безпеки конкретного підприємства. Рекомендується дотримуватись національного законодавства, стандартів безпеки та консультуватись з фахівцями-інтеграторами з охорони праці для отримання конкретних вказівок та рекомендацій.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

ВИСНОВОК

В результаті роботи над кваліфікаційною роботою було розроблено комп'ютеризовану систему вимірювання геометричних параметрів виробів на машинобудівному підприємстві за їх відеозображеннями. Система являє собою пристрій, що за своєю суттю є відеовимірювальною машиною, складеною з готових компонентів. В процесі роботи було вивчено готові рішення, що представлені на ринку України та світу та прийнято їх конструктивні рішення до уваги.

Розроблена система дозволяє безконтактно вимірювати лінійні розміри, за допомогою камери, з доволі високою точністю в ручному режимі, і дає уявлення про загальні розміри об'єкта вимірювань, якщо мова йде про автоматичний режим.

Завдяки використанню відкритих технологій система забезпечує можливість простого розширення функціоналу пристрою.

В дипломній роботі вирішенні такі завдання:

- проведено аналіз готових рішень присутніх на ринку;
- розроблено структурну схему;
- розроблено алгоритм та програмне забезпечення системи;
- визначено точність розробленої системи;
- визначено надійність системи.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Y. Fang, I. Masaki, B. Horn, Depth-based target segmentation for intelligent vehicles: Fusion of radar and binocular stereo. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 3, 196–202 (2002).
2. R.S. Lu, Y.F. Li, Q. Yu, On-line measurement of the straightness of seamless steel pipes using machine vision technique. Sens Actuators A 94, 95–101 (2001).
3. M. Brown, D.G. Lowe, Automatic panoramic image stitching using invariant features. Int. J. Comput. Vis. 74, 59–73 (2007).
4. B. Triggs, Empirical filter estimation for subpixel interpolation and matching // Computer Vision, 2001. ICCV 2001. Proceedings. Eighth IEEE International Conference on. IEEE, vol 2002, p. 550.
5. S.D. Ma, Z.Y. Zhang, Computer vision-theory and algorithm (Science Press, Beijing, 1998).
6. P. Kierkegaard, A method for detection of circular arcs based on the Hough transform. Mach Vis Appl 5, 249–263 (1992).
7. H.K. Yuen, J. Princen, J. Illingworth, et al., Comparative study of Hough transform methods for circle finding. Image Vis. Comput. 8, 71–77 (1989).
8. R. Klette, Robot Vision (Hunan Literature and Art Publishing House, Changsha, 2001).
9. Q. Meng, R. Zhou, Research on restoration of composite-frame images degraded by motion. Comput. Eng. 32, 187–189 (2006).
10. M. Elad, A. Feuer, Superresolution restoration of an image sequence: Adaptive filtering approach. IEEE Trans Image Process 8, 387–395 (1999).
11. R. Keys, Cubic convolution interpolation for digital image processing. IEEE Trans Acoust Speech Signal Process 29, 1153–1160 (2003).
12. Brown L G. A survey of image registration techniques. ACM 24(4), 325–376 (1992).

					<i>МММТ 480.010.012 - ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
						59
<i>Зм.</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

13. Min Y. Method of Straight Line Edge Subpixel Localization for Mechanical Part Image. Journal of SouthChina University of Technology 31, 30–33 (2003).

14. J.H. Lee, Y.S. Kim, S.R. Kim, et al., Real-time application of critical dimension measurement of TFT-LCD pattern using a newly proposed 2D image-processing algorithm[J]. Opt Lasers Eng 46, 558–569 (2008).

15. E.N. Malamas, E.G.M. Petrakis, M. Zervakis, et al., A survey on industrial vision systems, applications and tools. Image Vis Comput 21, 171–188 (2003).

16. M. Juneja, R. Mohan, An improved adaptive median filtering method for impulse noise detection. Int J Recent Trends Eng 1, 274–278 (2013).

17. M.K. Lee, K.Y. Chan, A flexible inspection cell for machined parts[J]. Comput. Ind. 30, 219–224 (1996).

18. G. Chen, K. Yang, R. Chen, et al., A gray-natural logarithm ratio bilateral filtering method for image processing. Chin. Opt. Lett. 6(9), 648–650 (2008).

19. J. Zheng, Y. Bai, B. Wang, et al., High-speed dynamic spectrum data acquisition system based on linear CCD. Chinese Optics Letters 9(s1), s10308 (2011).

20. S. Xiaojun, Z. Xiaohui, Z. Hu, et al., Inspection of surface finish of flat grinding based on machine vision. Chin J Lasers 35(s2), 320–323 (2008).

21. Gonzalez, R.C., and R. E. Woods, and S. L. Eddins. 2004. Digital Image Processing using MATLAB. 302 с.

22. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційновимірвальна техніка» Укладачі: Ю.О. Подчашинський, Л. О. Чепюк, Р.В. Петросян. – Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2022. – 60 с.

23. Мова програмування Python [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://wiki.python.org/moin/BeginnersGuide>.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

24. Бібліотека Numpy [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://numpy.org/doc/stable>.

25. Бібліотека OpenCV [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://docs.opencv.org/4.x>.

26. Закон України «Про охорону праці» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

27. Подчашинський Ю.О. П44 Стиснення та перетворення цифрових відеозображень з вимірювальною інформацією про геометричні параметри об'єктів: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2019. – 200 с.

28. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення: ДСТУ 2470-94. - К.: Держстандарт України, 1995. – 28 с.

29. Журахівський А.В., Кінаш Б.М., Пастух О.Р. Надійність електричних систем і мереж: навчальний посібник. / А.В. Журахівський, Б.М. Кінаш, О.Р. Пастух. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с. – ISBN 978-617-607-293-5.

					МММТ 480.010.012 - ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		