

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 контролю якості поверхні промислових
виробів на основі фрактальних моделей**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-3
напря Метрологічне забезпечення засобів
вимірювання температури твердих тіл
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Молнар Владислав Олексійович
(прізвище та ініціали)

Керівник дтн, проф.завідувач кафедри М та ІВТ
Подчашинський Ю.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доцент, в.о. декана
ФКІТМР Ткачук А.Г.
(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.

« ____ » _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент Молнар Владислав Олексійович

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система контролю якості поверхні промислових виробів на основі фрактальних моделей

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

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « ____ » _____ 202_ р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали звіту про переддипломну практику метрологічне забезпечення контролю якості поверхні промислових виробів , розрахунок та виведення поточних значень фрактальної розмірності на екран

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
Технічне завдання, огляд та аналіз існуючих систем вимірювання фрактальної розмірності, розрахунок та втведення поточних значень фрактальної розмірності на екран

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

Структурна схема, алгоритм програми

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 _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	5.04.2024-15.04.2024	
2	Збір літературних даних за темою дипломної роботи та відомих систем виявлення дефектів	16.04.2024-20.04.2024	
3	Ознайомитись з основними принципами побудови систем вимірювання фрактальних розмірностей	21.04.2024-24.04.2024	
4	Розробка структурної схеми системи вимірювання	25.04.2024-29.04.2024	
5	Побудова алгоритму	1.05.2024-3.05.2024	
6	Проведення експериментів	10.05.2024-13.05.2024	
7	Обчислення надійності системи	14.05.2024-17.05.2024	
8	Обчислення точності системи	18.05.2024-24.05.2024	
9	Охорона праці	25.05.2024-28.05.2024	
10	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	01.06.2024-20.06.2024	

Студент _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

					МКАТ 480.023.027 - ПЗ	Адк. 3
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система контролю якості поверхні промислових виробів на основі фрактальних моделей» містить 81 сторінки, 13 рисунків, 3 таблиці, 15 формул, 11 джерел.

В роботі пояснена важливість комп'ютеризована система контролю якості поверхні та обґрунтована актуальність застосування фрактальних моделей для цієї задачі. Описано процес розробки комп'ютеризованої системи контролю якості. Показано, як створюється та налаштовується програмне забезпечення для аналізу поверхні виробів з використанням фрактальних моделей. Була створена структурна схема, розроблено алгоритм та програма для виявлення дефектів. Прорахована точність та надійність системи.

Ключові слова: комп'ютеризована система контролю якості, фрактальні моделі, аналіз поверхонь, промислові вироби.

ANNOTATION

The bachelor's thesis on the topic "Computerized system for quality control of the surface of industrial products based on fractal models" contains 81 pages, 13 figures, 3 tables, 15 formulas, 11 sources.

The paper explains the importance of a computerized surface quality control system and substantiates the relevance of the use of fractal models for this task. It is shown how the software for analyzing the surface of products using fractal models is created and configured. The accuracy and reliability of the system are calculated.

Keywords: computerized quality control system, fractal models, surface analysis, industrial products.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	9
1.1. Призначення та область застосування.....	9
1.2. Умови експлуатації	9
1.3. Технічні параметри системи.....	10
1.4.Вимоги до конструктивного оформлення.....	11
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	11
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМ.....	13
3.Обґрунтування складових.....	13
4.РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.	42
4.1.Побудова алгоритму	42
5.ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	46
5.1.Визначення фрактальної розмірності цифрових відеозображень об'єктів вимірювань	46
5.2.Розробка коду	58
6. ТОЧНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМИ.....	68
7.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	79
7.1Охорона праці.....	79
7.2Розробка заходів з охорони праці	79
7.3Охорона праці при роботі з комп'ютером	80
ВИСНОВОК	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85

					МММТ 480.009.011- ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив		Молнар В.О			Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для визначення атмосферного тиску з розширеними функціями Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Арквнів
							5	53
Рецензен						ДУ «Житомирська політехніка» МТ-3		
Н. контр.								
Затверд.		Подчашинськи						

ВСТУП

Актуальність розробки та впровадження комп'ютеризованої системи контролю якості поверхні промислових виробів на основі фрактальних моделей зумовлена підвищеними вимогами до якості продукції, необхідністю автоматизації виробничих процесів, використанням новітніх технологій, економічною ефективністю та гнучкістю системи. Такі системи забезпечують високий рівень контролю якості, сприяють підвищенню продуктивності та конкурентоспроможності підприємств на сучасному ринку.

– Аналоги Комп'ютеризованої системи контролю якості поверхні промислових виробів на основі фрактальних моделей:

- 1. Системи на основі візуальної інспекції
 - Приклад:
 - Cognex Vision Systems: Використовує передові технології машинного зору для автоматизації процесів контролю якості. Їхні рішення забезпечують високу точність і можуть бути інтегровані в різні виробничі лінії.
 - 2. Лазерні скануючі системи
 - Приклад:
 - Keyence Laser Scanners: Високоточні лазерні системи, які використовуються для безконтактного вимірювання поверхонь. Їхні рішення дозволяють виявляти дефекти з високою точністю та забезпечують швидкий аналіз даних.
 - 3. Ультразвукові системи контролю
 - Приклад:
 - Olympus Ultrasonic Testing Systems: Пропонують широкий спектр ультразвукових рішень для контролю якості матеріалів. Їхні системи забезпечують точний аналіз і можуть бути застосовані до різних типів матеріалів і виробів.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
						6
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат		

4. Системи на основі штучного інтелекту та машинного навчання

Приклад:

– Deep Learning-Based Inspection Systems: Використання глибоких нейронних мереж для автоматичного виявлення дефектів на поверхнях виробів. Ці системи постійно вдосконалюються завдяки самонавчанню на нових даних.

Проте у цих аналогів є свої недоліки:

1. Системи на основі візуальної інспекції:

- 1) Обмеження точності.
- 2) Чутливість до умов освітлення.
- 3) Високі вимоги до обчислювальних ресурсів.

2. Лазерні скануючі системи:

- 1) Висока вартість
- 2) Складність в налаштуванні
- 3) Обмеження в матеріалах

3. Ультразвукові системи контролю:

- 1) Чутливість до властивостей матеріалів
- 2) Необхідність контактного з'єднання
- 3) Обмежена здатність до виявлення поверхневих дефектів

4. Системи на основі штучного інтелекту та машинного навчання:

- 1) Висока залежність від якості навчальних даних
- 2) Чутливість до змін умов
- 3) Високі обчислювальні вимоги

На відміну від традиційних методів, фрактальні моделі мають наступні переваги:

1. Висока точність і деталізація: Фрактальні моделі дозволяють аналізувати поверхні з високою точністю, враховуючи навіть найменші деталі та нерівності.

2. Стійкість до шуму: Алгоритми, засновані на фрактальній геометрії, менш чутливі до шуму, що забезпечує більш стабільні результати.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

3. Адаптивність: Фрактальні моделі можуть адаптуватися до різних типів поверхонь і умов, забезпечуючи універсальність системи.

Таким чином розробка системи на основі фрактальних моделей можуть значно покращити процес контролю якості поверхні промислових виробів, забезпечуючи більш високу точність та надійність у порівнянні з традиційними методами.

Мета роботи: Розробити комп'ютеризовану систему контролю якості поверхні промислових виробів на основі фрактальних моделей

Задачі, які необхідно виконати для досягнення мети:

1. Проаналізувати існуючі системи комп'ютеризованих систем контролю якості поверхні промислових виробів на основі фрактальних моделей
2. Розробити структурну схему роботи
3. Розробити програму та алгоритм
4. Показати результат роботи програми

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

1.ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1 Призначення та область застосування

Комп'ютеризовані системи контролю якості поверхні промислових виробів на основі фрактальних моделей призначені для автоматизованого, високоточного аналізу та оцінки стану поверхонь виробів. Головне завдання цих систем полягає у виявленні та класифікації дефектів поверхні, таких як тріщини, подряпини, нерівності, та інші аномалії, що можуть впливати на якість і функціональність виробів. Використання фрактальних моделей дозволяє аналізувати складні геометричні форми та мікроструктури поверхонь з високою точністю.

Області застосування:

1. Металургія та машинобудування:Металеві вироби, які можуть мати тріщини, подряпини, нерівності.
2. Авіаційна та космічна промисловість:Композитні матеріали, що використовуються в авіаційній та космічній промисловості.
3. Електроніка та мікроелектроніка:Електронні компоненти та мікросхеми з мікроструктурними дефектами.
4. Автомобільна промисловість:Автомобільні деталі, що мають поверхневі дефекти.
5. Виробництво медичного обладнання:Медичне обладнання, яке потребує високої якості поверхні.
6. Виробництво побутової техніки:Побутова техніка з різноманітними поверхневими дефектами.
7. Енергетика:Енергетичні установки та їх компоненти, що вимагають високої точності поверхні.

Початок розробки:квітень 2024

Кінець розробки:червень 2024

1.2 Умови експлуатації

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Робоча температура: Підтримання стабільної температури в діапазоні від +10°C до +35°C для забезпечення стабільної роботи обладнання.

Вологість: Відносна вологість повітря в межах 30-70%, що дозволяє уникнути конденсації та корозії компонентів системи.

Фільтрація повітря: Використання систем фільтрації для зменшення кількості пилу та інших забруднень у повітрі, що може впливати на роботу оптичних систем.

Регулярне очищення поверхонь обладнання для зменшення впливу забруднень на точність вимірювань.

Вібрації: Відсутні

1.3. Технічні параметри прилада

1. Об'єм інформації на вхід:

Вхідні дані: Зображення високої роздільної здатності, отримані за допомогою камер або сканерів.

Роздільна здатність зображень: Мінімум 12 МП.

Частота кадрів: До 30 кадрів за секунду (для режиму реального часу).

Обсяг даних: До 1 ГБ на зображення залежно від роздільної здатності та формату.

2. Об'єм інформації на виході:

Вихідні дані: Звіти про виявлені дефекти, аналітичні дані про якість поверхні, фрактальні параметри поверхні.

Формат даних: PDF звіти, CSV файли для аналітики, графічні зображення з позначеннями дефектів.

3. Режими роботи системи:

Автоматичний режим:

4. Технічні характеристики

1) Швидкодія:

Процесор: Багатоядерний (не менше 8 ядер), частота мінімум 3.0 ГГц.

Обробка зображень: До 10 зображень в секунду при повній роздільній здатності.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

2) Точність:

Виявлення дефектів: До 10 мкм для точних поверхневих дефектів.

3) Запізнення:

Обробка даних: Мінімальне запізнення до 100 мс при обробці зображень в реальному часі.

4) Надійність:

Середній час напрацювання на відмову (MTBF): Не менше 50 000 годин.

Гарантійний термін: Мінімум 2 роки при умові регулярного технічного обслуговування.

Споживча потужність

1. Енергоспоживання:

Система: До 1000 Вт залежно від комплектації.

Камери та освітлення: Додатково до 300 Вт.

Вимоги до взаємозамінності блоків та вузлів

1. Уніфіковані блоки:

Використання стандартних інтерфейсів: USB, Ethernet, HDMI, що забезпечує легку заміну компонентів.

Модульна архітектура: Забезпечує легку заміну окремих модулів (камери, сканери, процесорні блоки).

2. Взаємозамінність:

Заміна компонентів: Можливість швидкої заміни окремих блоків без значного простою системи.

Сумісність: Використання стандартних протоколів передачі даних і форматів зображень для забезпечення сумісності з різними компонентами.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

1.4.Вимоги до конструктивного оформлення

Надійність: середній час безвідмовної роботи (MTBF) системи може складати від 10 000 до 50 000 годин, залежно від умов експлуатації та якості компонентів.

Точність: похибка виявлення дефектів складає менше 0,1 мм, що забезпечує високу точність контролю якості поверхні.

Розміри конструкції:

- Вхідний блок з датчиками: 500 мм x 300 мм x 200 мм
- Блок обробки інформації (комп'ютер та додаткове обладнання): 600 мм x 400 мм x 300 мм
- Вихідний блок (візуалізація результатів та керування): 400 мм x 300 мм x 200 мм

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

Сучасні технології контролю якості поверхні промислових виробів активно використовують комп'ютерні системи, що базуються на методах обробки зображень та фрактальних моделях. Ці системи дозволяють автоматизувати процеси контролю, підвищуючи точність та ефективність виявлення дефектів. Ось декілька прикладів існуючих систем та їх аналіз.

1. Фрактальні системи контролю поверхні

Фрактальні системи аналізують текстурні властивості поверхні виробів за допомогою математичних моделей, які описують складні геометричні структури. Одним з основних підходів є використання фрактальної розмірності для оцінки шорсткості та інших характеристик поверхні.

Примірники систем

1. FRACTAL ANALYSIS SYSTEMS (FAS)

1. Використовує фрактальні алгоритми для оцінки якості поверхні.
2. Застосування: металургія, виготовлення електронних компонентів.
3. Переваги: висока точність виявлення дефектів, можливість аналізу складних текстур.
4. Недоліки: потребує значних обчислювальних ресурсів, складність налаштування.

2. SURFACE INSPECTION SYSTEMS BASED ON FRACTAL GEOMETRY (SIS-FG)

1. Застосовує фрактальну геометрію для аналізу поверхневих дефектів.
2. Застосування: автомобільна промисловість, аерокосмічна промисловість.
3. Переваги: висока швидкість обробки даних, автоматизація процесу контролю.
4. Недоліки: висока вартість обладнання, потребує спеціалізованого

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

програмного забезпечення.

2. Системи на основі машинного навчання

Сучасні системи контролю якості все частіше використовують методи машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу зображень та виявлення дефектів.

Примірники систем

3. Machine Learning-Based Surface Inspection Systems (ML-SIS)

1. Використовує алгоритми машинного навчання для класифікації дефектів на поверхні виробів.

2. Застосування: виготовлення друкованих плат, текстильна промисловість.

3. Переваги: висока точність, здатність до самонавчання, адаптивність.

4. Недоліки: потребує великої кількості навчальних даних, складність інтеграції в існуючі виробничі лінії.

4. Deep Learning Surface Inspection Systems (DL-SIS)

1. Використовує глибоке навчання для аналізу зображень поверхні.

2. Застосування: медична техніка, оптична промисловість.

3. Переваги: висока точність виявлення мікродефектів, здатність обробки великих обсягів даних.

4. Недоліки: високі вимоги до обчислювальних ресурсів, необхідність регулярного оновлення моделей.

3. Традиційні системи контролю якості

Традиційні системи використовують різні методи обробки зображень та фізичні вимірювання для контролю якості поверхні.

Примірники систем

5. Optical Surface Inspection Systems (OSIS)

1. Використовує оптичні методи для виявлення дефектів на поверхні.

2. Застосування: виробництво скла, напівпровідників.

3. Переваги: висока швидкість аналізу, надійність.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

4. Недоліки: обмежена здатність до виявлення мікродефектів, залежність від умов освітлення.

6.Contact-Based Surface Inspection Systems (CB-SIS)

1. Використовує контактні методи для оцінки шорсткості та інших характеристик поверхні.
2. Застосування: металургія, виготовлення механічних компонентів.
3. Переваги: висока точність вимірювань, простота у використанні.
4. Недоліки: низька швидкість, можливість пошкодження поверхні.

Наразі існує кілька комп'ютеризованих систем контролю якості поверхні промислових виробів, які використовують фрактальні моделі або методи аналізу для оцінки якості. Ось деякі з них:

Wyko NT9100 Optical Profiler: Ця система використовує оптичний профілометр для вимірювання та аналізу поверхні виробів. Вона може використовувати фрактальний аналіз для оцінки структури та якості поверхонь.

Veeco Wyko Profilometer: Цей профілометр також забезпечує комп'ютеризований аналіз поверхні з використанням фрактальних моделей для визначення різноманітних параметрів, таких як шорсткість, текстура тощо.

Bruker ContourGT Surface Metrology System: Ця система також використовується для аналізу поверхонь виробів у промисловості. Вона має функціональність для аналізу фрактальних характеристик та оцінки якості.

Zygo NewView Surface Profilometer: Ця система вимірює 3D профілі поверхонь з високою роздільною здатністю та точністю. Вона може використовувати фрактальний аналіз для оцінки структури та якості поверхні.

Ці системи і багато інших використовуються в різних галузях промисловості для контролю якості поверхні виробів на основі фрактальних моделей або аналізу. Кожна з них має свої особливості та переваги, які відповідають конкретним потребам та вимогам користувачів.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
						15
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		

1.Wyko NT9100 Optical Profiler є високоточним оптичним профілометром, який використовується для аналізу поверхні виробів з високою роздільною здатністю та точністю. Ця система надає можливість не лише вимірювати шорсткість поверхонь, а й досліджувати їхню текстуру, форму та інші параметри, що важливі для контролю якості виробів.

Основні характеристики Wyko NT9100 включають:

Висока роздільна здатність: Система забезпечує високу роздільну здатність при вимірюванні поверхонь, що дозволяє детально аналізувати навіть найдрібніші дефекти чи нерівності.

Широкий діапазон вимірювання: Wyko NT9100 може вимірювати поверхні з різною текстурою та формою, включаючи плоскі, криві, пористі або оптично прозорі поверхні.

Велика швидкість сканування: Система забезпечує швидке сканування поверхонь, що дозволяє ефективно контролювати якість виробів навіть на великих виробничих обсягах.

Простий використання: Wyko NT9100 має зручний інтерфейс користувача, що дозволяє операторам легко налаштовувати параметри вимірювань та аналізувати отримані дані.

Розширені функціональні можливості: Система може проводити різноманітні аналізи, включаючи фрактальний аналіз, оцінку рельєфу, вимірювання шорсткості, а також геометричний аналіз.

Wyko NT9100 Optical Profiler широко використовується в різних галузях промисловості, включаючи машинобудування, електроніку, медичну техніку та інші, де контроль якості поверхонь є важливим аспектом виробництва.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		



Рис 2.1 Зовнішній вигляд Wyko NT9100 Optical Profiler[2]

2. Veeco Wyko Profilometer - це ще одна високоточна система для аналізу поверхні виробів. Вона використовується для вимірювання 3D профілів поверхні з високою точністю та роздільною здатністю. Назва "Veeco" походить від компанії, яка розробила цей профілометр, а "Wyko" - це торгова марка під якою вона була випущена.

Основні характеристики Veeco Wyko Profilometer включають:

Висока точність вимірювань: Система забезпечує високу точність вимірювань 3D профілів поверхні, що дозволяє отримувати детальну інформацію про структуру та форму виробів.

Широкий діапазон вимірювання: Veeco Wyko Profilometer може вимірювати різні типи поверхонь, включаючи плоскі, криві, пористі та оптично прозорі. Велика швидкість вимірювань: Система може здійснювати швидкі вимірювання, що дозволяє ефективно контролювати якість виробів навіть на великих обсягах виробництва.

Різноманітність функцій аналізу: Veeco Wyko Profilometer має різноманітні функції аналізу, включаючи вимірювання шорсткості, оцінку рельєфу, визначення фрактальних характеристик та інші.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Зручний інтерфейс користувача: Система має зручний інтерфейс, що дозволяє операторам легко керувати процесом вимірювань та аналізувати отримані дані.

Veeco Wyko Profilometer широко використовується в промисловості для контролю якості виробів, дослідження поверхонь матеріалів, а також в різних дослідницьких та наукових лабораторіях.



Рис 2.2 Зовнішній вигляд Veeco Wyko Profilometer[3]

3.Bruker ContourGT Surface Metrology System - це високоточна система метрології поверхонь, призначена для аналізу та вимірювання характеристик поверхні виробів з високою роздільною здатністю. Ця система розроблена компанією Bruker і використовується в різних галузях промисловості для контролю якості виробів та дослідження їхніх поверхонь.

Основні характеристики Bruker ContourGT Surface Metrology System включають:

3D вимірювання поверхні: Система може здійснювати вимірювання 3D профілів поверхонь з високою точністю та роздільною здатністю.

Великий діапазон вимірювання: Bruker ContourGT може вимірювати різні типи поверхонь, включаючи плоскі, криві, пористі та оптично прозорі.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

Широкі можливості аналізу: Система має різноманітні функції аналізу, включаючи вимірювання шорсткості, оцінку рельєфу, визначення фрактальних характеристик та інші.

Висока швидкість вимірювань: Bruker ContourGT може здійснювати швидкі вимірювання, що дозволяє ефективно контролювати якість виробів навіть на великих обсягах виробництва.

Простий використання: Система має зручний інтерфейс, що дозволяє операторам легко керувати процесом вимірювань та аналізувати отримані дані.

Bruker ContourGT Surface Metrology System дозволяє підвищити ефективність контролю якості виробів та забезпечує надійну інформацію про їхні поверхні для подальшого вдосконалення технологічних процесів виробництва.



Рис 2.3 Зовнішній вигляд Bruker ContourGT Surface MetrologySystem[4]

4.Zygo NewView Surface Profilometer - це високоточний профілометр, призначений для аналізу та вимірювання 3D профілів поверхонь з високою точністю та роздільною здатністю. Ця система розроблена компанією Zygo Corporation і використовується в різних галузях промисловості для контролю якості виробів та дослідження їхніх поверхонь.

Основні характеристики Zygo NewView Surface Profilometer включають.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		19

Висока точність вимірювань: Система забезпечує високу точність вимірювань 3D профілів поверхні, що дозволяє отримувати детальну інформацію про структуру та форму виробів.

Великий діапазон вимірювання: Zygo NewView Profilometer може вимірювати різні типи поверхонь, включаючи плоскі, криві, пористі та оптично прозорі.

Висока роздільна здатність: Система має високу роздільну здатність, що дозволяє детально аналізувати навіть найдрібніші дефекти чи нерівності.

Широкий спектр функцій аналізу: Zygo NewView Profilometer має різноманітні функції аналізу, включаючи вимірювання шорсткості, оцінку рельєфу, визначення фрактальних характеристик та інші.

Зручний інтерфейс користувача: Система має зручний інтерфейс, що дозволяє операторам легко керувати процесом вимірювань та аналізувати отримані дані.



Рис 2.4 Зовнішній вигляд Zygo NewView Surface Profilometer [5]

Zygo NewView Surface Profilometer дозволяє ефективно контролювати якість виробів та забезпечує надійну інформацію про їхні поверхні для подальшого вдосконалення технологічних процесів виробництва.

Недоліки аналогів систем;

- 1.Традиційні методи візуального контролю

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		20

- Суб'єктивність результатів: Оператори можуть мати різні критерії оцінки якості, що призводить до непослідовності.
- Низька точність: Виявлення дрібних дефектів складне і часто неточне.
- Часозатратність: Ручний контроль займає багато часу, що знижує продуктивність.

Методи механічного сканування

- Фізичний контакт: Пошкодження поверхні виробів при скануванні.
- Обмежена чутливість: Механічні методи можуть не виявляти мікроскопічні дефекти.
- Висока вартість обслуговування: Заміна зношених компонентів може бути дорогою.
- Традиційні оптичні системи
- Чутливість до зовнішніх умов: Вплив освітлення, пилу та інших факторів на результати.
- Обмежена роздільна здатність: Не всі системи здатні виявляти мікродефекти.
- Складність налаштування: Потреба у частому калібруванні для забезпечення точності.

Методи на основі класичних статистичних моделей

- Неповнота моделей: Класичні статистичні методи можуть не враховувати всі можливі варіанти дефектів.
- Висока залежність від вибірки даних: Неточності в даних можуть призвести до невірних результатів.
- Низька адаптивність: Складність адаптації до нових типів поверхонь або дефектів.

Покращення моєї розробки

- Покращення алгоритмів обробки

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

- Використання гібридних моделей: Поєднання фрактальних моделей з методами машинного навчання для підвищення точності.
- Розширення бази даних зразків: Використання більшої кількості різноманітних поверхонь для навчання алгоритмів.
- Оптимізація програмного забезпечення
- Інтеграція з виробничими системами: Забезпечення безперебійної роботи з іншими елементами автоматизованих виробництв.
- Покращення інтерфейсу користувача: Розробка інтуїтивного та зручного інтерфейсу для операторів.
- Апаратні покращення
- Використання більш чутливих сенсорів: Впровадження новітніх сенсорних технологій для підвищення точності виявлення дефектів.
- Зниження чутливості до зовнішніх факторів: Застосування технологій захисту від пилу, змін освітлення та інших впливів.
- Адаптивність та масштабованість

Модульний підхід: Розробка системи з модульною архітектурою, що дозволяє легко додавати нові функції або адаптуватися до різних типів поверхонь.

Покращення алгоритмів самообучення: Впровадження алгоритмів, що здатні самостійно вдосконалюватися на основі нових даних.

Ці покращення дозволять зробити мою розробку більш конкурентоспроможною, підвищити її точність та надійність, а також забезпечити легшу інтеграцію у різні виробничі процеси.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Обґрунтування складових комп'ютеризованої системи

Вхідний блок:

- Збір даних від сенсорів (камери, сканери) з об'єкта контролю.
- Попередня обробка сигналів (фільтрація, посилення).
- Перетворення сигналів для подальшої обробки.

Блок обробки інформації:

- Аналіз зображень за допомогою фрактальних моделей.
- Виявлення дефектів та аномалій на поверхні виробів.
- Сортування та класифікація виявлених дефектів.

Вихідний блок:

- Відображення результатів на моніторі або інтерфейсі користувача.
- Виведення сигналів для керування подальшими процесами (наприклад, автоматичне сортування виробів).

- Збереження даних для подальшого аналізу та звітності.

Вхідний блок:

- Сенсори та камери: Збирають дані з поверхні виробу.
- Підсилювачі та фільтри: Обробляють сигнали від сенсорів.
- Перетворювачі: Преобразують сигнали у формат, зручний для аналізу.

Блок обробки інформації:

- Модуль обробки зображень: Використовує фрактальні алгоритми для аналізу поверхні.
- Модуль виявлення дефектів: Виявляє та класифікує дефекти.
- Модуль зберігання даних: Зберігає результати для подальшого аналізу.

Вихідний блок:

- Інтерфейс користувача: Відображає результати аналізу.
- Система керування: Відправляє сигнали на сортувальні або інші машини для подальших дій.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

3.2 Структурна схема

Структурна схема — схема, яка визначає основні функціональні частини виробу, їх взаємозв'язки та призначення. Під функціональною частиною розуміють складову частину схеми: елемент, пристрій, функціональну групу, функціональну ланку.

Структурна схема призначена для відображення загальної структури пристрою, тобто його основних блоків, вузлів, частин та головних зв'язків між ними. Із структурної схеми повинно бути зрозуміло, навіщо потрібний даний пристрій і як він працює в основних режимах роботи, як взаємодіють його частини. Позначення елементів структурної схеми можуть обиратись довільно, хоча загальноприйнятих правил виконання схем слід дотримуватись.

На структурних електричних схемах (ГОСТ 2.702-75) у вигляді прямокутників або умовних графічних познач зображають всі основні частини виробу (елементи, пристрої, функціональні групи) і показують взаємозв'язок між ними. При цьому графічна побудова схеми має давати наочне уявлення про послідовність взаємодії функціональних частин виробу, яка простежується за допомогою стрілок, що наносяться на лініях взаємозв'язку.

У разі виконання функціональних частин у вигляді прямокутників найменування функціональної частини, тип елемента і позначення документа записують всередині них. При великій кількості функціональних частин допускається замість найменування, типів і позначень проставляти порядкові номери справа від зображення або над ним, як правило, зверху вниз в напрямку зліва направо. У цьому випадку найменування, типи і позначення записують у вигляді таблиці, розміщеній на полі схеми.

Структурна схема комп'ютеризованої системи контролю якості поверхні промислових виробів на основі фрактальних моделей може бути представлена наступним чином:

1. Захоплення зображення:

– Камера: Використовується для захоплення зображення поверхні виробу.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		

- Об'єктив: Забезпечує детальне зображення текстури поверхні.
- Освітлення: Забезпечує рівномірне освітлення для чіткого зображення.

2. Обробка зображення:

- Комп'ютер: Обробляє зображення, захоплене камерою.
- Програмне забезпечення для обробки зображень: Використовується для перетворення зображення в відтінки сірого, розрахунку фрактальної розмірності та візуалізації фрактальної маски.

3. Аналіз фрактальної розмірності:

- Алгоритм фрактальної розмірності: Використовується для розрахунку фрактальної розмірності зображення.
- Фрактальна розмірність: Числове значення, яке характеризує складність та неоднорідність текстури поверхні.

4. Виявлення дефектів:

- Порогове значення: Використовується для виділення ділянок зображення з високою фрактальною розмірністю, які можуть бути дефектами.
- Класифікатор дефектів: Використовується для класифікації дефектів за типом (наприклад, подряпини, тріщини, пори).

5. Візуалізація та звітування:

- Візуалізація: Відображення фрактальної маски та класифікованих дефектів.
- Звітування: Генерація звітів про результати контролю якості, включаючи фрактальну розмірність, типи дефектів та їх розташування.

Зв'язки між компонентами:

1. Камера надсилає зображення до комп'ютера.
2. Програмне забезпечення для обробки зображень обробляє зображення та надсилає його на алгоритм фрактальної розмірності.
3. Алгоритм фрактальної розмірності розраховує фрактальну розмірність зображення та надсилає її на порогове значення.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
						25
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		

4. Порогове значення виділяє ділянки з високою фрактальною розмірністю та надсилає їх на класифікатор дефектів.

5. Класифікатор дефектів класифікує дефекти та надсилає результати на візуалізацію та звітування.

6. Візуалізація та звітування відображають результати контролю якості користувачеві.

1.Захоплення зображення:

Камера: Використовується для захоплення зображення поверхні виробу.

– Цифрова камера, або цифровий апарат — пристрій, що використовується для створення фото-знімків, в якому світлочутливим матеріалом є матриця або кілька матриць, котрі складаються з окремих пікселів, сигнал з яких представляється, обробляється і зберігається в самому апараті в цифровому вигляді. Це найпоширеніший пристрій для створення цифрових фотознімків. Більшість камер 21-го сторіччя є цифровими



Рис 3.1 Цифрова камера[6]

– Об'єктив з макрозйомкою: Забезпечує детальне зображення текстури поверхні.

Макрооб'єктив - це тип об'єктива, який використовується для зйомки дрібних об'єктів з близької відстані. Він має велику фокусну відстань і невелику глибину різкості, що дозволяє отримувати детальні зображення з розмитим фоном.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

Переваги використання макрооб'єктива для комп'ютеризованої системи контролю якості:

- Деталізація: Макрооб'єктив дозволяє отримувати чіткі та детальні зображення дрібних дефектів, які можуть бути невидимі неозброєним оком.
- Глибина різкості: Невелика глибина різкості макрооб'єктива дозволяє зосередитися на дефекті, розмиваючи фон, що полегшує його аналіз.
- Універсальність: Макрооб'єктиви можна використовувати для зйомки різноманітних поверхонь, включаючи метал, пластик, текстиль та харчові продукти.

Приклади використання макрооб'єктивів у системі контролю якості:

- Перевірка електронних компонентів: Макрооб'єктиви можуть використовуватися для виявлення дефектів на друкованих платах, таких як тріщини, паяльні містки та відсутні компоненти.
- Інспекція механічних деталей: Макрооб'єктиви можуть використовуватися для виявлення дефектів на механічних деталях, таких як подряпини, тріщини, пори та нерівності.
- Контроль якості харчових продуктів: Макрооб'єктиви можуть використовуватися для виявлення дефектів на харчових продуктах, таких як синці, гниль, пліснява та сторонні предмети.

Вибір макрооб'єктива:

При виборі макрооб'єктива для системи контролю якості слід враховувати такі фактори:

- Фокусна відстань: Фокусна відстань об'єктива визначає, наскільки близько ви можете підійти до об'єкта. Більша фокусна відстань дозволяє вам підійти ближче, але також може призвести до більшої дисторсії.
- Максимальна діафрагма: Максимальна діафрагма об'єктива визначає, скільки світла потрапляє на датчик камери. Більша максимальна діафрагма дозволяє використовувати більш короткі витримки затвора та зменшувати шум зображення.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
						27
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		

– Якість зображення: Якість зображення об'єктива визначається його різкістю, контрастністю та абераціями. Вибирайте об'єktiv із високою якістю зображення, щоб отримати чіткі та детальні зображення.



Рис 3.3 Макрооб'єktiv[7]

– Джерело світла: Забезпечує рівномірне освітлення для чіткого зображення.

2. Передача зображення:

– Кабель USB: Передає зображення з камери на комп'ютер.

3. Обробка зображення:

– Комп'ютер: Обробляє зображення, захоплене камерою.

– Програмне забезпечення для обробки зображень: Використовується для:

– Перетворення зображення в відтінки сірого.

– Застосування алгоритму фрактальної розмірності для розрахунку фрактальної розмірності зображення.

– Візуалізації фрактальної маски.

– Виявлення дефектів на основі фрактальної маски та порогового значення.

– Класифікації виявлених дефектів.

4. Зберігання та візуалізація:

– Зберігання: Зберігає результати аналізу (зображення, фрактальну розмірність, класифіковані дефекти) на комп'ютері або в хмарному сховищі.

– Візуалізація: Відображає:

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

1. Оригінальне зображення.
2. Фрактальну маску.
3. Класифіковані дефекти.
5. Звітування:

– Генерація звітів: Створює звіти про результати контролю якості, включаючи фрактальну розмірність, типи дефектів, їх розташування та зображення.

Взаємодія компонентів:

1. Камера захоплює зображення поверхні виробу.
2. Зображення передається на комп'ютер через кабель USB.
3. Програмне забезпечення для обробки зображень:
 - Перетворює зображення в відтінки сірого.
 - Застосовує алгоритм фрактальної розмірності для розрахунку фрактальної розмірності зображення.
 - Візуалізує фрактальну маску.
 - Виявляє дефекти на основі фрактальної маски та порогового значення.
 - Класифікує виявлені дефекти.
4. Результати аналізу зберігаються на комп'ютері або в хмарному сховищі.
5. Відображаються:
 - Оригінальне зображення. Фрактальна маска.
 - Класифіковані дефекти.
6. Створюються звіти про результати контролю якості.

Переваги використання фрактальних моделей для контролю якості:

- Ефективність: Фрактальні моделі можуть ефективно аналізувати складні та неоднорідні текстури.
- Стійкість до шуму: Фрактальні моделі стійкі до шуму та варіацій освітлення.

Аналіз у реальному часі: Фрактальні алгоритми можуть бути реалізовані для аналізу зображень у реальному часі.

Прилади використані в роботі:

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Ноутбук: ASUS TUF Gaming F15[8] — це високопродуктивний ігровий ноутбук, розроблений для геймерів і професіоналів, які потребують потужного апаратного забезпечення. Цей ноутбук поєднує в собі міцний дизайн, високоякісні компоненти та сучасні технології, що робить його відмінним вибором для інтенсивних ігрових сесій та продуктивної роботи.

Технічні характеристики

Процесор:

1. Модель: Intel Core i5-11400H @ 2.70GHz 2.69 GHz Ядра/потоки: 4/8 (i5)
2. Тактова частота: До 5.0 ГГц з Turbo Boost

Графічний процесор:

1. Модель: RTX 3050
2. Відеопам'ять: 4 ГБ GDDR6

Оперативна пам'ять:

1. Тип: DDR4
2. Обсяг: 16 ГБ
3. Частота: 2933 МГц або 3200 МГц

Зберігання даних:

1. Тип: NVMe SSD
2. Обсяг: 500 ГБ, можливість розширення за допомогою другого слота M.2

Дисплей:

1. Розмір: 15.6 дюймів
2. Роздільна здатність: Full HD (1920x1080)
3. Частота оновлення: 144 Гц
4. Покриття: Матове антиблікове

Акумулятор:

1. Ємність: 48 Вт·год
2. Час роботи: До 8-10 годин у режимі звичайного використання

Охолодження:

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

1. Технологія: Два вентилятори, кілька теплових трубок, самоочищуюча система охолодження
2. Вентиляційні отвори: Множинні, з додатковими отворами для ефективного відведення тепла

Порти:

1. USB: 3x USB 3.2 Type-A, 1x USB 3.2 Type-C
2. HDMI: 2.0b
3. Ethernet: RJ-45
4. Аудіо: 3.5 мм комбінований аудіороз'єм
5. Допоміжні: Порт для замка Kensington

Бездротові з'єднання:

1. Wi-Fi: Wi-Fi 6 (802.11ax)
2. Bluetooth: 5.1

Дизайн та конструкція:

– Корпус: Виготовлений з високоміцного пластику з металевими елементами, відповідає військовим стандартам MIL-STD-810H для захисту від ударів і вібрацій.

– Клавіатура: Підсвічування RGB з кількома зонами, спеціальні клавіші WASD, довговічність до 20 мільйонів натискань.

– Габарити: 359 x 256 x 24.9 мм

– Вага: Приблизно 2.3 кг

Програмне забезпечення та функції

– Armoury Crate: Фірмове програмне забезпечення ASUS для налаштування продуктивності, моніторингу системи та керування підсвічуванням.

– Anti-Dust Cooling: Система охолодження з анти-пиловими каналами для продовження терміну служби компонентів.

– DTSUltra: Аудіосистема з підтримкою віртуального об'ємного звуку для кращого занурення у гру.

Камера: Raspberry Pi Camera Module V2

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		

Raspberry Pi Camera Module V2[9] — це компактна та високоякісна камера, спеціально розроблена для використання з мікрокомп'ютерами Raspberry Pi. Вона ідеально підходить для різних проєктів, таких як спостереження, відео-конференції, а також наукові дослідження, де важлива висока роздільна здатність і гнучкість у використанні.

Технічні характеристики:

Сенсор:

1. Модель сенсора: Sony IMX219
2. Роздільна здатність: 8 мегапікселів
3. Розмір сенсора: 1/4 дюйма
4. Максимальна роздільна здатність зображення: 3280 x 2464

пікселів

Відеозапис:

1. Роздільна здатність відео: 1080p30, 720p60, 640x480p90
2. Формати відео: H.264, MJPEG

Об'єктив:

1. Фокусна відстань: 3.04 мм
2. Діафрагма: f/2.0
3. Кут огляду: 62.2 градуса по діагоналі

Інтерфейс:

1. З'єднання: CSI (Camera Serial Interface), який підключається до спеціального порту на платі Raspberry Pi

Розміри:

1. Габарити: 25 мм x 23 мм x 9 мм
2. Вага: Приблизно 3 грами

Особливості:

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

- Висока роздільна здатність: 8 МП дозволяє отримувати чіткі та детальні зображення, що підходять для аналізу якості поверхні промислових виробів.
- Компактний розмір: Невеликі габарити камери дозволяють інтегрувати її в різні системи без зайвого збільшення розмірів пристрою.
- Гнучкість у використанні: Камера може бути використана в різних проєктах, включаючи машинне бачення, фотозйомку, та наукові дослідження.
- Проста інтеграція: Легко підключається до Raspberry Pi через CSI-інтерфейс, а також підтримується багатьма програмними бібліотеками, такими як OpenCV та Python.

Переваги:

- Низька вартість: Це одна з найекономічніших камер на ринку, яка забезпечує високу якість зображення за доступну ціну (~30-40 USD).
- Підтримка програмного забезпечення: Підтримується безліччю програмних бібліотек, що спрощує розробку і інтеграцію в існуючі проєкти.
- Широка спільнота: Велика спільнота користувачів Raspberry Pi забезпечує доступ до численних ресурсів, прикладів та технічної підтримки.

Застосування:

- Контроль якості поверхні: Використовується для детального аналізу та моніторингу поверхонь промислових виробів за допомогою фрактальних моделей та інших методів обробки зображень.
- Системи спостереження: Ідеально підходить для створення систем відеоспостереження завдяки високій роздільній здатності та можливості запису відео у форматі Full HD.
- Освітні проєкти: Часто використовується у навчальних закладах для навчання робототехніці, програмуванню та системам машинного бачення.

Об'єктив:

Raspberry Pi Camera Lens Kit[9]

Raspberry Pi Camera Lens Kit — це набір об'єктивів, який дозволяє розширити функціональні можливості Raspberry Pi Camera Module V2. Він

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

забезпечує можливість змінювати фокусну відстань та інші параметри зображення для різних застосувань.

Технічні характеристики

Фокусна відстань об'єтивів:

1. 6 мм
2. 12 мм
3. 16 мм

Тип кріплення:

1. Можливість використання з C- або CS-матрицею.
2. Перехідники для сумісності з Raspberry Pi Camera Module V2.

Діафрагма:

1. Зазвичай об'єктиви мають фіксовану діафрагму, яка залежить від конкретної моделі об'єктива.

Кут огляду:

1. Від 20 градусів до 180 градусів залежно від об'єктива.

Особливості:

- Гнучкість у використанні: Дозволяє змінювати фокусну відстань для різних типів зйомки (макрозйомка, ширококутна зйомка тощо).
- Покращена якість зображення: Використання спеціальних об'єтивів може значно покращити якість зображення порівняно з вбудованим об'єктивом камери.
- Легка інтеграція: Просте кріплення та налаштування для швидкого використання з Raspberry Pi Camera Module V2.

Переваги:

- Висока якість зображення: Можливість використання об'єтивів з високою оптичною якістю для досягнення більш чітких і детальних зображень.
- Змінювані об'єктиви: Легко замінюються об'єктиви залежно від вимог проєкту.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

– Розширення можливостей: Можливість адаптації камери для різних застосувань, таких як спостереження, макрозйомка, фотографія з високою деталізацією.

Застосування:

Контроль якості поверхні: Ідеально підходить для проєктів, де потрібна висока деталізація поверхні промислових виробів.

Наукові дослідження: Використовується в різних наукових експериментах, де необхідна точність і чіткість зображень.

– Системи спостереження: Дозволяє налаштовувати кут огляду та фокусну відстань для кращого контролю за об'єктами.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

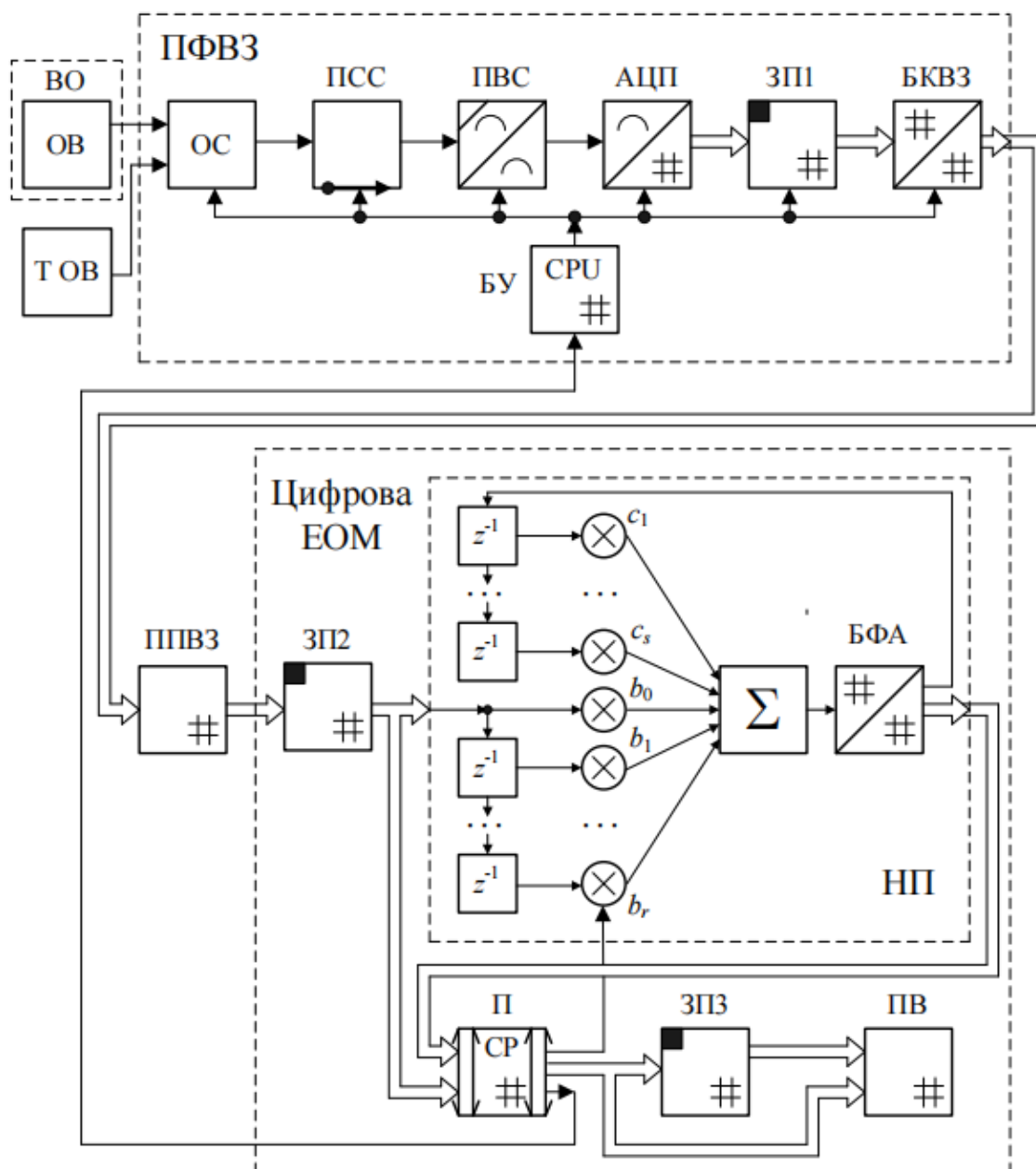


Рис 3.4 Структурна схема роботи

На рис. 3.4 позначено: ОВ – об’єкт вимірювань; ВО – виробниче обладнання; Т ОВ – тестовий ОВ для калібрування вимірювального каналу;

ПФВЗ – пристрій формування відеозображень; ОС – оптична система ПФВЗ; ПСС – перетворювач «світло-сигнал»; ПВС – підсилювач відеосигналу; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ЗП1...ЗП3 – запам’ятовуючі пристрої для відеозображень; БКВЗ – блок кодування відеозображень; БУ –

блок управління ПФВЗ; ППВЗ – пристрій передачі відеозображень у цифрову ЕОМ; НП – нейропроцесор у складі цифрової ЕОМ; БЗ – блок затримки; $c_1 \dots c_s$, $b_0 \dots b_r$ – вагові коефіцієнти штучної нейронної мережі, які настраюються відповідно до поточних умов вимірювань; БФА – блок функції активації нейронної мережі; П – процесор цифрової ЕОМ; ПВ – пристрій візуалізації відеозображень і результатів вимірювання ГП об’єктів.

У вимірювальній системі для обробки відеозображень використовується цифрова ЕОМ з додатковим нейропроцесором, що містить базові елементи штучних нейронних мереж. Ці елементи з’єднані у певній послідовності та використовуються для відновлення відеозображень із випадковими та динамічними похибками вимірювальної інформації про ГП, а також для пошуку та виділення ОВ і їх структурних елементів на відеозображеннях. Завдяки адаптивним властивостям штучної нейронної мережі, параметри алгоритмів обробки відеозображень можуть налаштовуватися відповідно до поточних умов вимірювань та властивостей ОВ. Це дозволяє компенсувати додаткові похибки вимірювань геометричних параметрів об’єктів і значно підвищити точність вимірювальної системи.

У вимірювальній системі вихід другого запам’ятовуючого пристрою відеозображень підключено до додаткового входу пристрою візуалізації відеозображень і результатів вимірювання ГП. Це рішення забезпечує безпосередню передачу на цей пристрій результатів обробки поточного відеозображення та результатів вимірювання геометричних параметрів об’єктів, тоді як цифрова ЕОМ обробляє наступне відеозображення. Таким чином, підвищується швидкодія вимірювальної системи.

У вимірювальній системі використовується комп’ютеризована обробка відеозображень ОВ для вимірювання їх ГП. Відеозображення ОВ формується оптико-електронними методами шляхом растрового сканування двовимірного образу ОВ, створеного оптичною системою ПФВЗ на поверхні матричного перетворювача «світло-сигнал». Для комп’ютеризованої обробки

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат		37

сформованих відеозображень у цифровій ЕОМ застосовуються методи фільтрації та відновлення відеозображень, пошуку і виділення контурів ОВ та множини точок, що належать ОВ. У результаті вимірюються координати точок, що належать ОВ. Результати вимірювань координат точок використовуються у вимірювальній системі для розрахунку ГП (лінійних розмірів і кутів) по зовнішньому контуру ОВ, а також ГП структурних елементів поверхні цих об'єктів (довжина і ширина, площа, кут орієнтації головної осі інерції, центр мас, морфометричні ознаки, коефіцієнти геометричної форми). Параметри руху виробів та інші механічні величини визначаються шляхом комп'ютеризованої обробки часових послідовностей відеозображень з виміряними ГП.

Під час калібрування вимірювального каналу вимірювальної системи використовуються тестові ОВ з відомими лінійними розмірами для визначення масштабних коефіцієнтів у рівняннях вимірювань (1.2), а також тестові ОВ з відомими характеристиками поверхні та процедури адаптації та навчання штучних нейронних мереж, що дозволяють компенсувати вплив нестационарних і несприятливих факторів на вимірювальну систему в умовах промислових підприємств. Вимірювальна система має підвищену точність (у 2,5-3,0 рази, похибка вимірювання лінійних розмірів 0,1 мм, кутів – 26 кутових секунд для промислових виробів з максимальним розміром до 1500x1200 мм) і швидкодію (у десятки разів, час вимірювань для одного виробу 3,0 с), розширені функціональні можливості реєстрації, аналізу, зберігання і відображення вимірювальної інформації про ГП порівняно з існуючими засобами вимірювань. Технічні засоби вимірювальної системи забезпечують формування та алгоритмічну обробку відеозображень, що включають ПФВЗ, ППВЗ та цифрову ЕОМ. В якості ПФВЗ можуть використовуватися різні технічні засоби, зокрема аналогові та цифрові відеокамери, цифрові фотоапарати. Вони можуть формувати вихідне відеозображення в аналоговій або цифровій формі. На теперішній час

					<i>МММТ 480.009.011- ПЗ</i>	<i>Док.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Док.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		<i>38</i>

найбільш досконалими і розповсюдженими є цифрові засоби формування відеозображень. Розподільча здатність та швидкодія цих засобів є достатньою для вимірювальної системи. ППВЗ забезпечує введення відеозображень у цифрову ЕОМ. У вимірювальній системі з цифровими ПФВЗ використовуються інтерфейси USB або IEEE1394. Якщо в реальному часі вимірюється рух ОВ з високою швидкістю, то необхідна швидкодіюча спеціалізована цифрова відеокамера та електронна плата для підключення цієї відеокамери до системної шини цифрової ЕОМ.

Для підвищення точності вимірювальної системи необхідна обробка відеозображень з метою алгоритмічної компенсації похибок, що здійснюється обчислювальними засобами. Існують оптичні обчислювальні засоби, що виконують обробку відеозображень в аналоговій формі, та цифрові обчислювальні засоби, що виконують комп'ютеризовану обробку відеозображень у цифровій формі. В оптичних засобах виконується багатоканальна паралельна обробка відеозображень. Оптичні засоби мають високу швидкодію, але точність вимірювальної системи на їх основі буде нижчою через технологічні обмеження на точність виготовлення складових частин. Тому у вимірювальній системі використовуються цифрові обчислювальні засоби (цифрова ЕОМ) для підвищення точності результатів вимірювань ГП. Ефективним варіантом підвищення швидкодії вимірювальної системи з цифровою ЕОМ є введення до її складу нейропроцесора, що містить базові елементи штучних нейронних мереж для швидкої паралельної обробки цифрових відеозображень.

Відповідно до розроблених принципів побудови, важливою складовою частиною комп'ютеризованої обробки відеозображень у вимірювальній системі є штучні нейронні мережі. Існує багато різних типів таких мереж і прикладів їх застосування у задачах автоматизації, управління, обробки сигналів. Нейронні мережі можуть використовуватися для лінійних і нелінійних операцій обробки сигналів, що містять вимірювальну інформацію

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Дрк.
						39
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		

про ГП, зокрема для компенсації динамічних похибок вимірювальної системи та обробки відеозображень. Вимірювальна система з нейропроцесором у складі цифрової ЕОМ використовує штучні нейронні мережі для аналізу відеозображень, що містять інформацію про об'єкти. Цей підхід дозволяє ефективно підвищити точність і швидкодію вимірювальної системи.

Для уточнення і налаштування алгоритмів обробки відеозображень у вимірювальній системі можуть використовуватися додаткові запам'ятовуючі пристрої для відеозображень, пристрій візуалізації відеозображень і результатів вимірювання геометричних параметрів об'єктів, блок затримки та інші технічні засоби. Ці компоненти сприяють обміну інформацією між основними функціональними частинами вимірювальної системи і дозволяють виконувати вимірювання геометричних параметрів об'єктів у реальному часі з високою точністю.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

4.1. Побудова алгоритму

Алгоритм - це точно визначена послідовність дій або інструкцій, які виконуються для розв'язання певної задачі або досягнення певної мети. Алгоритм можна розглядати як набір кроків, які потрібно виконати, щоб отримати бажаний результат.

Алгоритми використовуються в різних галузях, включаючи математику, науку, програмування, комп'ютерні науки та багато інших. Вони є основою для розв'язання проблем, автоматизації процесів і керування системами.

Хороший алгоритм має наступні властивості:

1. **Чіткість:** Кожен крок алгоритму повинен бути ясним і точно визначеним, без неоднозначностей або сумнівів.
2. **Ефективність:** Алгоритм повинен бути ефективним, тобто виконувати задачу швидко та ефективно в межах доступних ресурсів (часу, пам'яті тощо).
3. **Коректність:** Алгоритм повинен давати правильний результат для всіх можливих вхідних даних.
4. **Масштабованість:** Алгоритм повинен бути придатним для використання в різних масштабах, від невеликих до великих задач.

Алгоритми можна описувати за допомогою різних формальних методів, таких як блок-схеми, псевдокод або спеціалізовані мови програмування. Вони дозволяють систематично описувати послідовність дій, взаємозв'язки та умови виконання.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

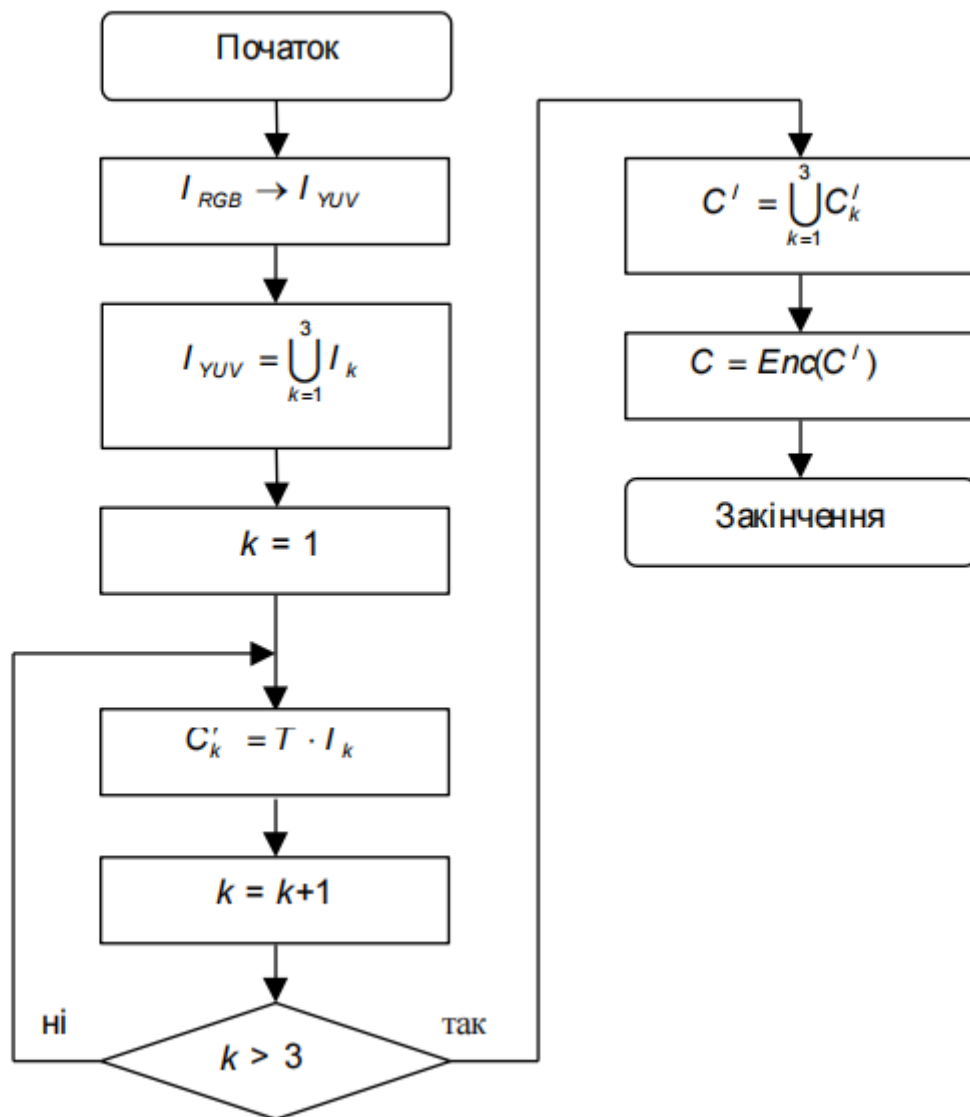


Рис 5.1. Алгоритм програми

Ось опис алгоритму

Цей алгоритм описує процес аналізу поверхні промислових виробів з метою виявлення та класифікації дефектів за допомогою фрактальних моделей.

1. Захоплення зображення:

– Використовується камера з високою роздільною здатністю та об'єктив з макрозйомкою для отримання чіткого та детального зображення поверхні виробу.

– Забезпечується рівномірне освітлення для мінімізації тіней та отримання якісного зображення.

2. Перетворення зображення в відтінки сірого:

– Кольорове зображення, отримане на попередньому кроці, перетворюється в монохромне (відтінки сірого) для спрощення подальшого аналізу.

– Це дозволяє зосередитися на текстурних особливостях поверхні, ігноруючи вплив кольору.

3. Розрахунок фрактальної розмірності:

– Застосовується алгоритм фрактальної розмірності, наприклад, алгоритм Хайно-Охаси, до зображення в відтінках сірого.

– Фрактальна розмірність кількісно описує складність та неоднорідність текстури поверхні.

– Цей показник є ключовим для виявлення дефектів, які зазвичай характеризуються більш складною текстурою, ніж бездоганні ділянки.

4. Виявлення дефектів:

– Використовується порогове значення фрактальної розмірності, встановлене на основі досвіду та характеристик поверхні, для виділення ділянок з високою фрактальною розмірністю.

– Ці ділянки розглядаються як потенційні дефекти.

– Застосовується алгоритм кластеризації для групування сусідніх потенційних дефектів, що дозволяє об'єднати дрібні дефекти в більші.

5. Класифікація дефектів:

– Використовується алгоритм машинного навчання, наприклад, метод

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Дрк.
						43
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		

- опорних векторів (SVM), навчений на наборі даних зображень з різними типами дефектів.
- Алгоритм класифікує кожен виявлений дефект за його типом (наприклад, подряпина, тріщина, пори).
- Це дозволяє розрізняти різні види дефектів та дати їм більш точну характеристику.

6. Візуалізація та звітування:

- На оригінальному зображенні візуалізується фрактальна маска, яка підкреслює ділянки з високою фрактальною розмірністю, ймовірно, дефекти.
- Класифіковані дефекти також візуалізуються та позначаються відповідно до їхнього типу.
- Складається звіт про результати контролю якості, який включає фрактальну розмірність, типи дефектів, їх розташування та зображення.
- Цей звіт може використовуватися для документування результатів інспекції та прийняття рішень щодо якості продукції.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

5. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Визначення фрактальної розмірності цифрових відеозображень об'єктів вимірювань

В цьому розділі досліджується використання методів фрактального аналізу відеозображень для обробки та стиснення інформації про механічні величини. Розглянуто фрактальні властивості цифрових відеозображень, які містять такі дані. Надані рекомендації щодо вибору параметрів процедур обробки і стиснення двовимірної вимірювальної інформації про механічні величини. Обробка цифрових відеозображень для отримання вимірювальної інформації передбачає виконання певного набору процедур аналізу відеозображень за визначеними алгоритмами. Використання фракталів для аналізу відеозображень, що містять вимірювальну інформацію, дозволяє виконати сегментацію цих зображень, визначити контури об'єктів, а також виконати допоміжні операції, як фрактальне стиснення відеозображень та визначення їх фрактальної розмірності. Всі ці процедури мають багато різних параметрів, що впливають на результати обробки відеозображень. Тому актуальним є дослідження фрактальних властивостей відеозображень, які містять вимірювальну інформацію, для визначення параметрів процедур обробки, що знижують похибки вимірювальної інформації про механічні величини.

Існують різні методи для обробки та стиснення цифрових відеозображень, які поділяються на дві великі групи:

1. Методи обробки відеозображень для візуального сприйняття людиною, спрямовані на покращення їх візуальної якості.
2. Методи обробки відеозображень у системах технічного зору та інформаційно-вимірювальних системах для отримання інформації про досліджувані об'єкти.

Ці методи мають обмеження, пов'язані зі складною структурою відеозображень, складністю їх математичного опису та обмеженнями на обсяг оброблюваної інформації. Розвиток інформаційно-комп'ютерних технологій дозволяє поступово знімати ці обмеження і використовувати нові математичні

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Дрк.
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		45

методи та алгоритми обробки відеозображень. Одним з перспективних методів є застосування математичної теорії фракталів для обробки відеозображень.

Особливо перспективним цей напрямок є для відеозображень об'єктів зі складною формою та структурою природного або штучного походження, таких як промислові вироби з природного каменю з природною текстурою і структурою, які потрібно вимірювати та контролювати у процесі виробництва. Існують різні методи фрактальної обробки та стиснення цифрових відеозображень, а також обробки вимірювальної і діагностичної інформації на таких зображеннях. Проте більшість з них орієнтована на пошук і розпізнавання об'єктів з певною формою або текстурою. Висвітлення питань вимірювання ГП, похибок вимірювань та стиснення вимірювальної інформації є недостатнім.

Мета проведених досліджень – застосування методів фрактального аналізу до цифрових відеозображень з вимірювальною інформацією про механічні величини і визначення характерних особливостей об'єктів на основі розрахунку їх фрактальної розмірності. Можливість і ефективність застосування фрактальних методів до відеозображень залежить від наявності у них фрактальних властивостей, які можуть бути оцінені за допомогою фрактальної розмірності D . Фрактальна розмірність, або розмірність Хаусдорфа-Безиковича, відрізняється від топологічної розмірності DT і для об'єктів з фрактальними властивостями є дробною величиною. Визначення фрактальної розмірності включає поняття міри M_d , що характеризує відстань між точками множини точок Ω та їх взаємне розташування у просторі. В даному випадку d – це розмірність міри M_d , яка при виконанні певних умов дорівнює фрактальній розмірності D об'єкта, що досліджується і складається з множини точок Ω . Ці умови визначаються з рівняння.

□

$$M_d = \gamma(d)N(\delta)\delta^d \xrightarrow{\delta \rightarrow 0} \begin{cases} 0 & \text{якщо } d > D, \\ \infty & \text{якщо } d < D, \end{cases} \quad (5.1)$$

□

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		46

де $\square$ – коефіцієнт, що враховує геометричну форму просторової фігури, за допомогою якої покривається множина точок $\square$ (для квадратів і кубів $\square = 1$), N – кількість квадратів або кубів, які повністю покривають множину $\square$, δ – довжина ребра цих квадратів або кубів.

Для розробки обчислювальних алгоритмів фрактальної розмірності використовують той факт, що при $\delta \rightarrow 0$ з формули (5.1) випливає залежність:

$$N(\delta) \sim \frac{1}{\delta^D},$$

де a – коефіцієнт пропорційності.

$$\lg(N(\delta)) = aD \lg(\delta), \quad (5.2)$$

Відповідно до формули (5.2) будують графік залежності $\lg(N(\delta))$ від $aD \lg(\delta)$ і по ньому визначають фрактальну розмірність D .

Для відеозображень, що містять вимірювальну інформацію фрактальна розмірність може визначена за двома варіантами:

– фрактальна розмірність функції яскравості точок відеозображення, що розташована в тривимірному просторі (дві координати x і y – це координати в площині відеозображення, третя координата B – яскравість) і має значення в інтервалі $2 \leq D \leq 3$;

– фрактальна розмірність контурів структурних елементів відеозображення, що розташовані в площині відеозображення, в даному випадку $1 \leq D \leq 2$.

Розглянемо приклад визначення фрактальної розмірності відеозображення, що містить поверхню будівельних виробів з природного каменю. Функція яскравості такого відеозображення наведена на (рис. 5.1) Зауважимо, що в даному випадку поверхня каменю (габро) є ахроматичною і достатньо досліджувати функцію яскравості, інакше для хроматичних поверхонь потрібно розглядати 3 функції у відповідності до однієї з стандартних колориметричних систем.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

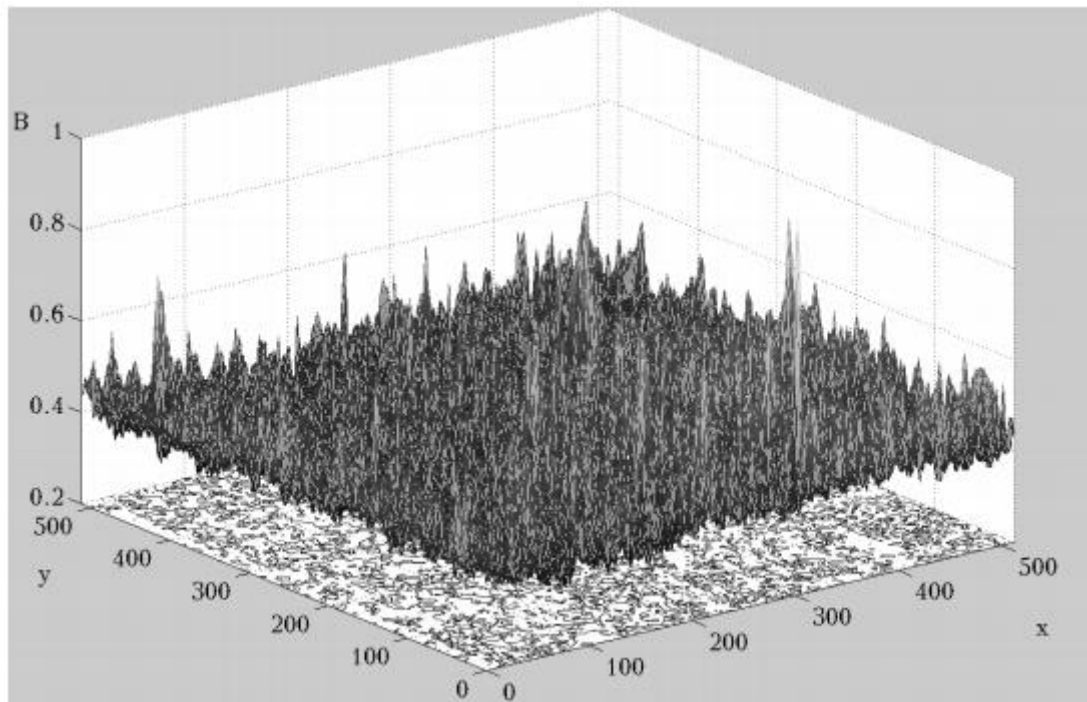


Рис. 5.1. Приклад функції яскравості для цифрового відеозображення поверхні природного каменю

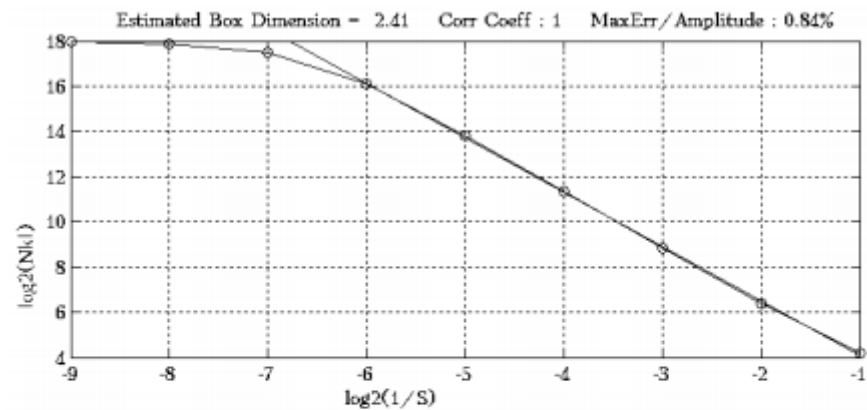
Для таких відеозображень були побудовані графіки залежностей $\lg(N(\delta))$ від $\lg(\delta)$ (точки і крива на рис. 6.2) і по них визначалась фрактальна розмірність D функції яскравості шляхом лінійної апроксимації за методом найменших квадратів (прямі лінії на рис. 6.2). Також розглядався варіант обчислення фрактальної розмірності функції яскравості при меншому розмірі в дискретних точках цифрового відеозображення (рис.6.3) та варіант обчислення фрактальної розмірності контурів структурних елементів цифрового відеозображення (рис. 6.4).

Аналіз цих результатів дозволяє відзначити певні особливості обчислення фрактальної розмірності і застосування фрактальних методів обробки і стиснення до цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію про механічні величини. На фрактальні властивості об'єктів впливає дискретний характер відеозображення, так як теоретично розмір блоку, що аналізується, наближається до нуля, а реально

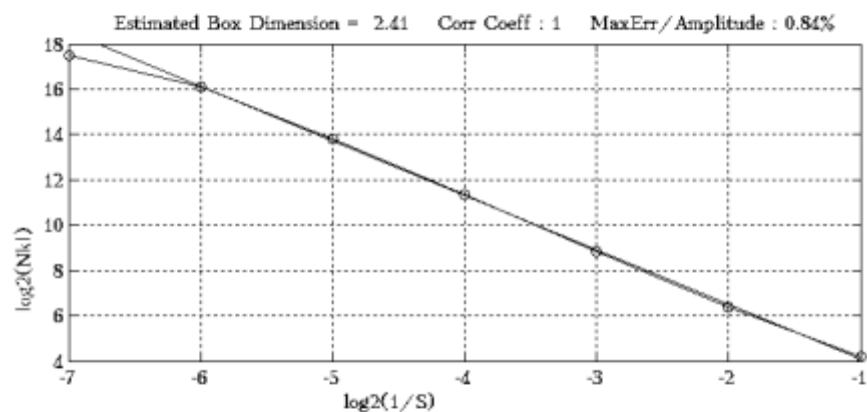
він не може бути меншим, ніж одна дискретна точка. Зменшувати розмір квадратів або кубів, які покривають множину Ω , до нуля можна для

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

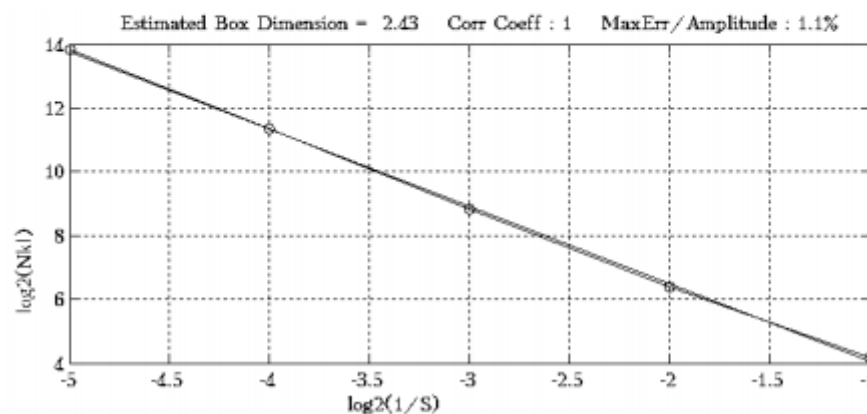
безперервного зображення, а для цифрового відеозображення мінімальний розмір квадратів або кубів – це є розмір дискретної точки відеозображення.



а)



б)



в)

Рис. 5.2. Розрахунок фрактальної розмірності функції яскравості (розмір цифрового відеозображення 512×512 дискретних точок, мінімальний розмір блоку, що аналізується, 1×1 дискретних точок (а), 4×4 дискретних точок (б), 16×16 дискретних точок (в))

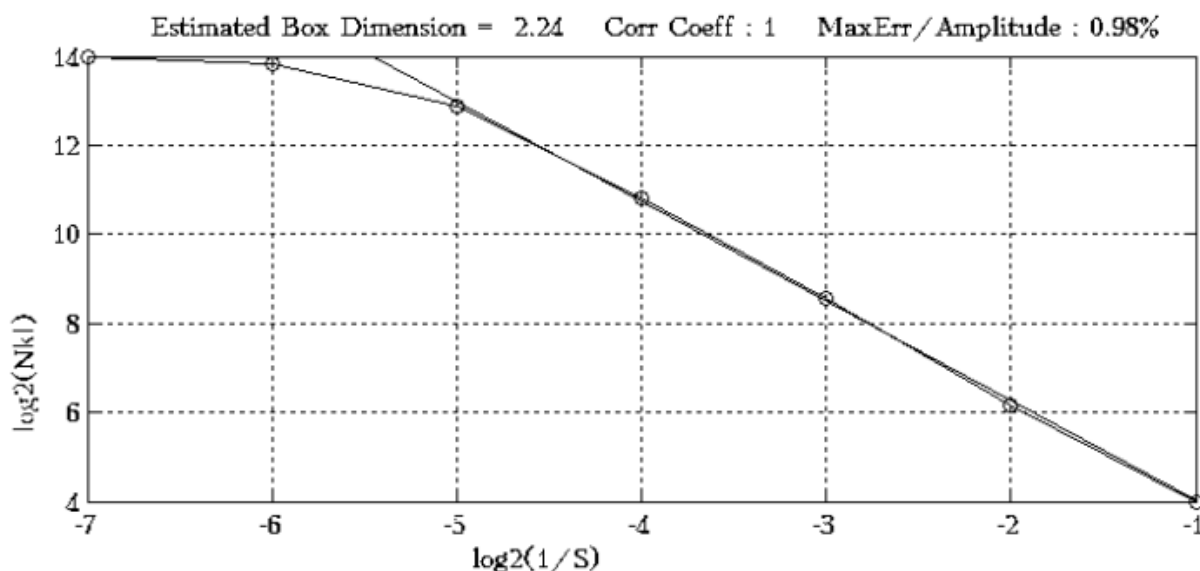


Рис. 5.3 Розрахунок фрактальної розмірності функції яскравості (розмір цифрового відеозображення 128×128 дискретних точок, мінімальний розмір блоку, що аналізується, 1×1 дискретних точок)

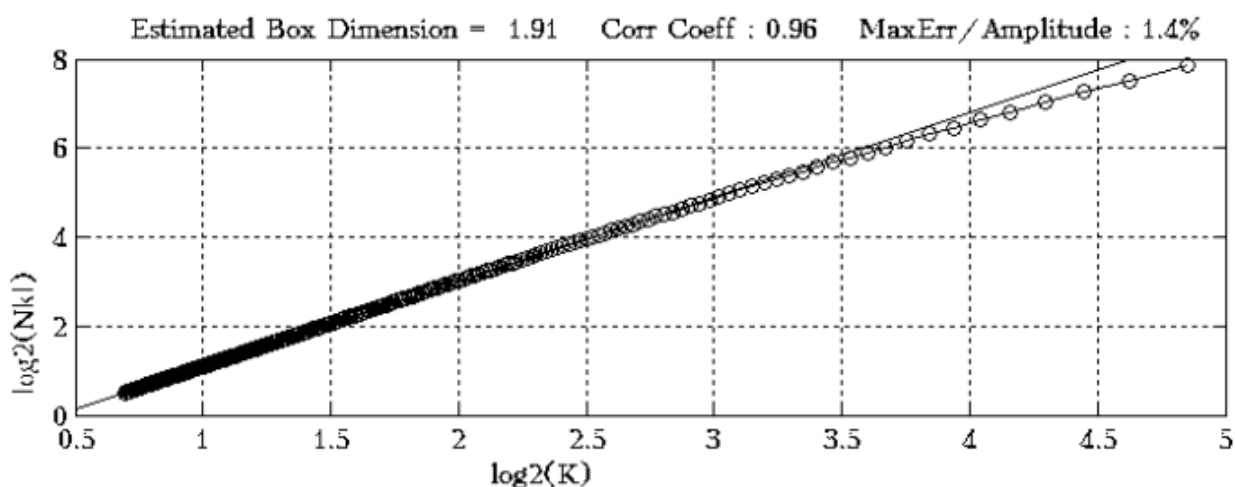


Рис. 5.4 Розрахунок фрактальної розмірності контурів структурних елементів цифрового відеозображення (розмір 512×512 дискретних точок)

Вплив усіх вищезазначених факторів призводить до того, що графік залежності $\lg(N(\delta))$ від $\lg(\delta)$ при малому розмірі блоків, що аналізуються, не відповідає фрактальній теорії (немає постійного нахилу графіка). Це і є вплив дискретності на фрактальні властивості цифрового відеозображення. Для правильного обчислення фрактальної розмірності цифрового відеозображення

цю ділянку графіка потрібно виключити з розгляду. Тому мінімальний розмір рангового блоку квадродерева не повинен бути меншим за мінімальний розмір структурного елемента, що має фрактальні властивості, за умови правильного вибору роздільної здатності відеозображення.

Відповідно до графіка, мінімальний розмір блоків, що мають фрактальні властивості, складає 8×8 дискретних точок. Враховуючи, що роздільна здатність цього відеозображення дорівнює 300 dpi (дискретних точок на дюйм), отримуємо мінімальний розмір структурного елемента відеозображення близько 0,7 мм. Це добре узгоджується з тим фактом, що для даного природного каменю (дрібнозернисте габро) розмір зерен становить менше 1 мм.

Результати обчислення фрактальної розмірності дозволяють зробити висновки щодо фрактальних властивостей відеозображення, що містить вимірювальну інформацію, і визначити параметри фрактальних методів обробки та стиснення цих відеозображень:

1. Роздільна здатність відеозображення повинна бути такою, щоб на один структурний елемент відеозображення припадало не менше 5-7 дискретних точок.
2. В алгоритмі фрактального стиснення мінімальний розмір рангового блоку не повинен бути меншим за мінімальний розмір структурного елемента, що має фрактальні властивості. Інакше під час стиснення будуть виконуватись зайві обчислення і збільшиться час виконання стиснення. Це потребує врахування індивідуальних особливостей відеозображень, що стискаються.
3. Можливий і універсальний підхід до вибору мінімального розміру рангового блоку, враховуючи лише інтегруючі властивості вимірювального каналу. В цьому випадку розмір рангового блоку повинен складати 2×2 дискретні точки.
4. Зазначені обмеження також потрібно враховувати для інших процедур фрактальної обробки цифрових відеозображень, що містять вимірювальну інформацію (сегментація, виділення контурів об'єктів тощо).

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		51

Іншим цікавим застосуванням фрактальних методів аналізу відеозображень може бути контроль якості поверхні будівельних виробів з природного каменю під час їх механічної обробки. Зовнішній вигляд поверхні будівельних виробів з природного каменю є однією з їх важливих характеристик. Контроль і відбракування цих виробів здійснюється під час їх виготовлення з блоків природного каменю та під час механічної обробки їх поверхні. Такий контроль потребує визначення ряду показників якості. Для будівельних виробів з природного каменю використовуються показники якості їх поверхні:

- вигляд лицьової поверхні (включаючи структуру, текстуру і фактуру цієї поверхні);
- колір лицьової поверхні;
- відхилення показників зовнішнього вигляду (наявність пазирів, плям тощо).

Відомі способи контролю якості поверхні включають застосування експертних оцінок, а також вимірювальних приладів (блискоміри, колориметри тощо) для отримання чисельних оцінок якості. Однією зі складових частин такого контролю є визначення здатності природного каменю до полірування на етапі оцінки якості сировини родовища та визначення якості фактури поверхні на етапі виробництва будівельних виробів. Існуючі способи контролю якості поверхні потребують використання значного обсягу ручної праці і через це мають низьку продуктивність. При використанні методу експертних оцінок також можлива наявність похибок, обумовлених суб'єктивними факторами. Тому досить перспективним способом контролю якості поверхні будівельних виробів з природного каменю є формування цифрових відеозображень їх поверхні, введення цих зображень в обчислювальне середовище цифрової ЕОМ з подальшою цифровою обробкою відеозображень. З метою оцінки якості фактурної обробки поверхні будівельних виробів з природного каменю при їх поетапній обробці пропонується використання фрактального аналізу відеозображень. Такий аналіз виконується шляхом обчислення фрактальної розмірності

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат		52

відеозображень обробленої поверхні цих виробів. Це дозволяє отримати об'єктивні чисельні характеристики якості поверхні, не користуючись спеціальним і часто важкодоступним обладнанням, еталонами тощо, а також підвищити продуктивність процедури контролю. Розглянемо використання фрактального аналізу для оцінки якості поверхні виробів на прикладі природного каменю, видобутого з Букинського родовища габро і лабрадориту (Малинський район Житомирської області). Після кожного етапу обробки поверхні за допомогою цифрового фотоапарату формувалося відеозображення цієї поверхні і обчислювалась фрактальна розмірність двовимірної функції яскравості в площині відеозображення, а також фрактальна розмірність контурів структурних елементів поверхні (рис. 5.5 табл. 5.1).

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Етап обробки	Найменування технологічної операції	Характеристика поверхні після механічної обробки	Фрактальна розмірність відеозображення	
			функція яскравості	контури структурних елементів поверхні
1	Грубе шліфування	Шорсткість до 0,5 мм	2,41	1,91
2	Шліфування	Відсутність слідів розпилу, шорсткість до 0,2 мм	2,38	1,84
3	Тонке шліфування	Шорсткість до 0,05 мм	2,35	1,79
4	Перше лощіння	Відсутність слідів обробки, гладка матова поверхня з повним виявом рисунку каменю	2,33	1,76
5	Друге лощіння	Відсутність слідів обробки, гладка матова поверхня з повним виявом рисунку каменю, повне видалення мікротріщинуватості	2,33	1,74
6	Полірування	Рівномірний дзеркальний блиск, чітке відображення оточуючих предметів	2,32	1,72

табл.(6.1)

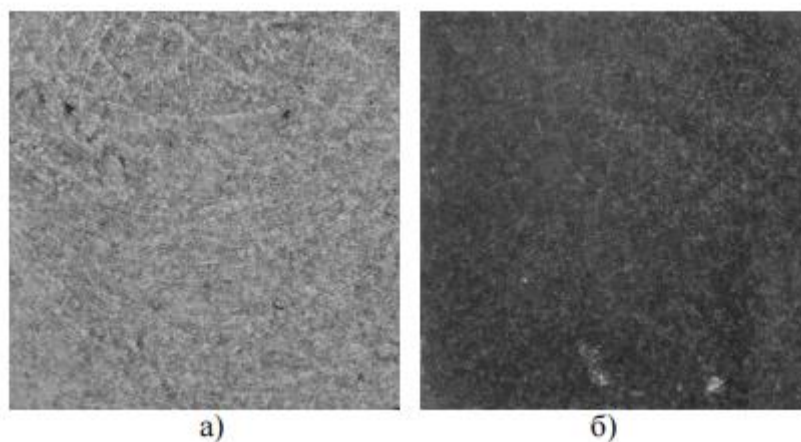


Рис. 5.5 Поверхня природного каменю після 1 та 6 етапів фактурної абразивної обробки

Фрактальна розмірність чітко залежить від якості фактурної обробки поверхні природного каменю і може використовуватись як об'єктивний показник якості поверхні будівельних виробів. Таким чином, отримані показники фрактальної розмірності відеозображень поверхні природного каменю дозволяють контролювати якість сировини з родовищ природного каменю (здатність каменю до полірування), а також якість поверхні будівельних виробів з природного каменю в процесі їх виготовлення. Ці показники можуть бути застосовані на таких етапах технологічного циклу:

- оцінка якості сировини родовищ природного каменю;
- розробка та впровадження технологічних операцій виготовлення будівельних виробів з природного каменю та фактурної обробки поверхні цих виробів;
- контроль якості при прийманні готової продукції з природного каменю.

Таким чином, розглянуто особливості застосування методів фрактального аналізу до обробки вимірювальної інформації про механічні величини, представленої у формі цифрових відеозображень. Можливість і ефективність застосування цих методів обумовлені наявністю фрактальних властивостей у об'єктів, що містяться на відеозображеннях. Для оцінки цих властивостей необхідно визначити фрактальну розмірність відеозображень і об'єктів, що досліджуються.

Результати обчислення фрактальної розмірності дозволяють зробити висновки щодо фрактальних властивостей відеозображення, що містить вимірювальну інформацію, і надати рекомендації щодо параметрів фрактальних методів обробки і стиснення цих відеозображень, які забезпечують зменшення похибок вимірювальної інформації та часу її обробки. Проведеними дослідженнями встановлено, що розмір відеозображення повинен бути не менший, ніж 512×512 дискретних точок.

Такий підхід дозволяє зменшити кількість операцій та час обчислення процедур фрактального стиснення та аналізу відеозображень, що містять вимірювальну інформацію, при заданій точності передачі та зберігання цієї

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Дрк.
						55
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		

інформації. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на встановлення залежностей і розробку математичних моделей для обчислення точнісних і часових характеристик процесу вимірювань механічних величин, який включає фрактальну обробку та стиснення цифрових відеозображень.

5.2 Розробка коду для проведення обчислень

Для розробки коду я використав середовище PyCharm. **PyCharm** — інтегроване середовище розробки для мови програмування Python. Надає засоби для аналізу коду, графічний зневаджувач, інструмент для запуску юніт-тестів і підтримує веброботку на Django. PyCharm розроблена чеською компанією JetBrains на основі IntelliJ IDEA.

Основні можливості PyCharm: PyCharm — це потужне та універсальне інтегроване середовище розробки (IDE), спеціально розроблене для програмування на Python. Він пропонує комплексний набір функцій для підвищення продуктивності, якості коду та загального досвіду розробки. Ось деякі з ключових особливостей PyCharm:

1. Інтелектуальне редагування коду:

Підсвічування синтаксису та доповнення коду: PyCharm забезпечує підсвічування синтаксису для коду Python, що полегшує його читання та розуміння. Він також пропонує інтелектуальні пропозиції щодо завершення коду на основі контексту, заощаджуючи час і зменшуючи кількість помилок.

Перевірка коду та обличювання: PyCharm виконує статичний аналіз коду, щоб виявити потенційні помилки, проблеми зі стилем і запахи коду. Це допоможе вам писати чистіший і зручніший для супроводу код.

Рефакторинг коду: PyCharm надає інструменти рефакторингу, які допоможуть вам реструктурувати та покращити ваш код, не змінюючи його функціональності. Це включає перейменування змінних, вилучення методів і реорганізацію блоків коду.

2. Інтегрований налагоджувач:

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

– Візуальний налагоджувач: візуальний налагоджувач PyCharm дозволяє вам переглядати ваш код рядок за рядком, перевіряти значення змінних і встановлювати контрольні точки для керування виконанням.

– Віддалене налагодження: Ви можете налагоджувати код Python, запущений на віддалених машинах або в різних середовищах, таких як веб-сервери або віртуальні середовища.

– Профілювання: Інструменти профілювання PyCharm допоможуть вам виявити вузькі місця продуктивності та оптимізувати ваш код для ефективності.

3. Тестування та покриття коду:

– Підтримка модульного тестування: PyCharm інтегрується з популярними фреймворками модульного тестування, такими як unittest і pytest, що полегшує написання, запуск і керування модульними тестами.

– Покриття тестів: PyCharm може обчислювати та відображати покриття коду, показуючи, які частини вашого коду охоплюються модульними тестами.

– Налагоджувальні тести: Ви можете налагоджувати свої модульні тести так само, як і звичайний код Python, за допомогою візуального налагоджувача.

4. Інтеграція контролю версій:

– Підтримка популярних систем керування версіями: PyCharm легко інтегрується з різними системами контролю версій (VCS), такими як Git, Mercurial і Subversion.

– Візуалізація змін: PyCharm візуально виділяє зміни, внесені до файлів коду, що полегшує відстеження змін і співпрацю з іншими.

– Комітування та розгалуження: Ви можете безпосередньо вносити зміни, створювати гілки та керувати своїм репозиторієм VCS із PyCharm.

5. Інструменти веб-розробки:

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Дрк.
						57
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		

- Підтримка Django: PyCharm надає специфічні функції та інструменти для розробки веб-додатків Django, включаючи шаблони проектів, доповнення коду для конструкцій Django та підтримку налагодження.
- Редагування JavaScript і HTML: PyCharm пропонує підсвічування синтаксису, доповнення коду та лінування для JavaScript і HTML, що робить його також підходящим інструментом для зовнішньої розробки.
- Віддалене розгортання: Ви можете розгорнути свій Django або веб-додатки на віддалених серверах безпосередньо з PyCharm.

6. Наукові обчислення та наука про дані:

Інтеграція з IPython: PyCharm інтегрується з ноутбуками IPython, дозволяючи писати інтерактивний код, візуалізувати дані та виконувати аналіз даних у IDE. Підтримка наукових бібліотек: PyCharm надає спеціальну підтримку для популярних наукових бібліотек, таких як NumPy, SciPy та Matplotlib, включаючи доповнення коду, перевірки та налагодження. Віддалений доступ до даних: PyCharm може підключатися до віддалених джерел даних, таких як бази даних і хмарне сховище, для аналізу та обробки даних.

7. Кросплатформна підтримка:

Windows, macOS і Linux: PyCharm доступний для всіх трьох основних операційних систем, що дозволяє розробляти програми Python на бажаній платформі. Екосистема плагінів: PyCharm має широку екосистему плагінів, розширюючи свою функціональність інструментами для перевірки стилю коду, підключення до баз даних, віддаленої розробки тощо. Це лише деякі з багатьох функцій, які роблять PyCharm потужною та універсальною IDE для розробки на Python. Поєднання інтелектуального редагування коду, інструментів налагодження, підтримки тестування, інтеграції з венксом, інструментів веб-розробки, можливостей наукових обчислень і

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

кросплатформної підтримки зробило його популярним вибором серед програмістів Python у всьому світі.

Даний код написаний в середовищі програми PyCharm, на мові програмування Python. Він використовує бібліотеки · OpenCV (cv2): Використовується для завантаження, обробки та візуалізації зображень. · NumPy (numpy): Використовується для роботи з масивами та обчислень. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) — це відкрита бібліотека комп'ютерного зору та машинного навчання, яка містить понад 2500 оптимізованих алгоритмів. Вона широко використовується для розробки програмного забезпечення у різних галузях, таких як розпізнавання об'єктів, обробка зображень, відеоаналіз та інші.

Основні можливості OpenCV:

1. Обробка зображень: Масштабування, поворот, обрізка, конвертація між кольоровими просторами, фільтрація та інші операції.
2. Виявлення об'єктів: Розпізнавання облич, рухомих об'єктів, виявлення контурів, та інше.
3. 3D реконструкція: Стереобачення, створення 3D моделей з зображень.
4. Машинне навчання: Вбудовані алгоритми машинного навчання, такі як класифікатори, кластеризація, нейронні мережі та інші.
5. Обробка відео: Захоплення, декодування та обробка відеопотоків.

NumPy

NumPy (Numerical Python) — це бібліотека для роботи з багатовимірними масивами і матрицями, а також для виконання різних математичних операцій над ними. Вона є фундаментальною для наукових обчислень у Python і забезпечує високу продуктивність та гнучкість.

Основні можливості NumPy:

1. Багатовимірні масиви: Підтримка роботи з багатовимірними масивами (ndarray), що дозволяє зручно зберігати і обробляти дані.
2. Математичні функції: Великий набір математичних функцій для роботи з масивами, таких як функції для лінійної алгебри, статистики, тригонометрії

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

та інших операцій.

3. Арифметичні операції: Підтримка векторизованих операцій, що значно підвищує продуктивність обчислень.

4. Інтеграція з іншими бібліотеками: NumPy добре інтегрується з іншими науковими бібліотеками Python, такими як SciPy, Matplotlib та pandas.

Використання NumPy:

- Створення масивів: NumPy дозволяє створювати і працювати з багатовимірними масивами.
- Обробка даних: Масиви NumPy використовуються для ефективного зберігання і обробки великих обсягів числових даних. Бібліотеки OpenCV та NumPy є надзвичайно потужними інструментами для обробки зображень і наукових обчислень у Python. OpenCV забезпечує широкий спектр можливостей для комп'ютерного зору, тоді як NumPy надає потужний інструментарій для роботи з числовими даними та багатовимірними масивами. Разом ці бібліотеки значно спрощують розробку високопродуктивних додатків для аналізу та обробки даних. Саме за їх допомогою був написаний код для

моєї програми. Цей код призначений для виявлення дефектів на зображенні, використовуючи аналіз фрактального розміру. Він складається з наступних основних кроків: Обчислення фрактального розміру (Fractal Dimension):

Функція `calculate_fractal_dimension` перетворює вхідне кольорове зображення у відтінки сірого, після чого обчислює його фрактальний розмір за допомогою методу підрахунку кількості квадратів (box-counting method).

Класифікація дефекту: Функція `classify_defect` визначає тип дефекту на основі обчисленого фрактального розміру. Для цього вона використовує попередньо визначені порогові значення, які розділяють типи дефектів (в даному випадку, подряпини, тріщини і відсутність дефекту).

Візуалізація дефекту: Функція `visualize_defect` малює прямокутник навколо області, яка містить дефект, на оригінальному зображенні. Це робиться за допомогою OpenCV, і в залежності від типу дефекту, колір прямокутника буде відмінним.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

```
import cv2
```

```
import numpy as np
```

– `import cv2`: Цей рядок імпортує бібліотеку OpenCV для роботи з обробкою зображень.

– `import numpy as np`: Цей рядок імпортує бібліотеку NumPy, яка використовується для роботи з масивами та обчислень, та надається псевдонім `np`, щоб зробити код більш компактним.

```
def calculate_fractal_dimension(image):
```

```
    image_gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
```

```
    fractal_dimension = box_counting(image_gray)
```

```
    return fractal_dimension
```

– `def calculate_fractal_dimension(image)::` Ця стрічка починає оголошення функції `calculate_fractal_dimension`, яка обчислює фрактальний розмір зображення.

– `image_gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)`: Конвертує вхідне кольорове зображення `image` у відтінки сірого за допомогою функції `cvtColor` з OpenCV.

– `fractal_dimension = box_counting(image_gray)`: Викликає функцію `box_counting` для обчислення фрактального розміру зображення у відтінках сірого.

– `return fractal_dimension`: Повертає обчислений фрактальний розмір.

```
def box_counting(image, epsilon=0.01):
```

```
    height, width = image.shape
```

```
    min_box_size = min(height, width)
```

```
    box_counts = []
```

```
    for box_size in range(min_box_size, 1, -1):
```

```
        n_boxes_x = int(width // box_size) + 1
```

```
    n_boxes_y = int(height // box_size) + 1
```

```
    box_counts.append(0)
```

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

```

for y in range(n_boxes_y):
    for x in range(n_boxes_x):
        box = image[y * box_size:(y + 1) * box_size, x * box_size:(x + 1) * box_size]
        if np.sum(box) > epsilon:
            box_counts[-1] += 1

```

- `def box_counting(image, epsilon=0.01)::` Оголошує функцію `box_counting`, яка реалізує алгоритм підрахунку кількості квадратів для обчислення фрактального розміру.
- `height, width = image.shape:` Отримує висоту та ширину зображення.
- `min_box_size = min(height, width):` Обчислює мінімальний розмір квадрата для підрахунку.
- `box_counts = []:` Створює пустий список для зберігання кількості знайдених квадратів.
- Цикл `for box_size in range(min_box_size, 1, -1)::` Проходиться по розмірам квадратів від максимального до мінімального.
- `n_boxes_x = int(width // box_size) + 1` та `n_boxes_y = int(height // box_size) + 1:` Обчислює кількість квадратів по горизонталі та вертикалі.
- Цикли `for y in range(n_boxes_y):` та `for x in range(n_boxes_x)::` Проходяться по кожному квадрату на зображенні.
- `box = image[y * box_size:(y + 1) * box_size, x * box_size:(x + 1) * box_size]:` Обирає кожний квадрат зображення.
- `if np.sum(box) > epsilon::` Перевіряє, чи сума значень пікселів в квадраті перевищує деяке мінімальне значення `epsilon`.
- `box_counts[-1] += 1:` Збільшує лічильник квадратів у відповідній позиції у списку `box_counts`.
- `if not any(box_counts):`
`return 0.0`
- `log_box_sizes = np.log2(np.arange(min_box_size, 1, -1))`
- `log_box_counts = np.log2(box_counts)`
- `slope, _ = np.polyfit(log_box_sizes, log_box_counts, 1)`

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

```

    fractal_dimension = -slope
    return fractal_dimension
def classify_defect(fractal_dimension):
    defect_thresholds = {
        0: 1.5, # No defect
        1: 1.7, # Scratch
        2: 1.9, # Crack
    }
    defect_type = None
    for defect_class, threshold in defect_thresholds.items():
        if fractal_dimension < threshold:
            defect_type = defect_class
    break
    return defect_type
def visualize_defect(image, defect_type):
    if defect_type == 1: # Scratch
        color = (0, 255, 0) # Green
    elif defect_type == 2: # Crack
        color = (0, 0, 255) # Red
    else:
        return image # No defect, return original image
    height, width, _ = image.shape
    start_point = (width // 4, height // 4)
    end_point = (3 * width // 4, 3 * height // 4)
    thickness = 2
    image_with_defect = cv2.rectangle(image.copy(), start_point, end_point, color,
    thickness)
    return image_with_defect
if __name__ == "__main__":

```

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		63

```

image = cv2.imread(r'C:\Users\Notebook\Desktop/image1.jpg')
fractal_dimension = calculate_fractal_dimension(image)
print("Fractal Dimension:", fractal_dimension)
defect_type = classify_defect(fractal_dimension)
print("Defect Type:", defect_type)
image_with_defect = visualize_defect(image, defect_type)
cv2.imshow("Image with Defect", image_with_defect)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()

```

- · `if not any(box_counts)::` Перевіряє, чи не всі елементи `box_counts` рівні нулю (тобто, чи було знайдено якісь квадрати).
- · `return 0.0:` Повертає 0.0 як фрактальний розмір у випадку, якщо не було знайдено жодного квадрата.
- · `log_box_sizes = np.log2(np.arange(min_box_size, 1, -1)):` Обчислює логарифмічні значення розмірів квадратів.
- · `log_box_counts = np.log2(box_counts):` Обчислює логарифмічні значення кількості знайдених

Цей код обчислює фрактальний розмір зображення та класифікує дефекти на основі цього розміру. Ось що робить кожна функція у коді:

`calculate_fractal_dimension(image):` Ця функція приймає зображення у форматі BGR (Blue-Green-Red) та обчислює його фрактальний розмір. Вона перетворює зображення у відтінки сірого за допомогою `cv2.cvtColor()`, а потім викликає функцію `box_counting()` для обчислення фрактального розміру.

`box_counting(image, epsilon=0.01):` Ця функція обчислює фрактальний розмір зображення за допомогою методу підрахунку кількості квадратів. Вона поділяє зображення на квадратні області різного розміру, рахує кількість ненульових областей в кожному квадраті, а потім використовує метод лінійної апроксимації для обчислення фрактального розміру.

`classify_defect(fractal_dimension):` Ця функція класифікує дефекти на зображенні на основі фрактального розміру. Вона порівнює отриманий

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		64

фрактальний розмір з певними пороговими значеннями, щоб визначити тип дефекту (наприклад, подряпина або тріщина).

`visualize_defect(image, defect_type)`: Ця функція візуалізує виявлений дефект на зображенні, малюючи прямокутник навколо області дефекту. Якщо дефект не виявлено, вона повертає оригінальне зображення.

Ось приклад цього аналізу:

Fractal Dimension: 1.592019395639602

Defect Type: 1



Рис.5.6 Показ дефекту

Таким чином, цей код виконує аналіз зображень для виявлення дефектів на основі їх фрактального розміру та візуалізує результати цього аналізу.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

6.ТОЧНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМИ

Розробка методики оцінювання похибок на стиснутих відеозображеннях Роботу алгоритму стиснення JPEG-2000 розглянемо на конкретному прикладі, пов'язаному з стисненням цифрових відеозображень промислових виробів з природного каменю

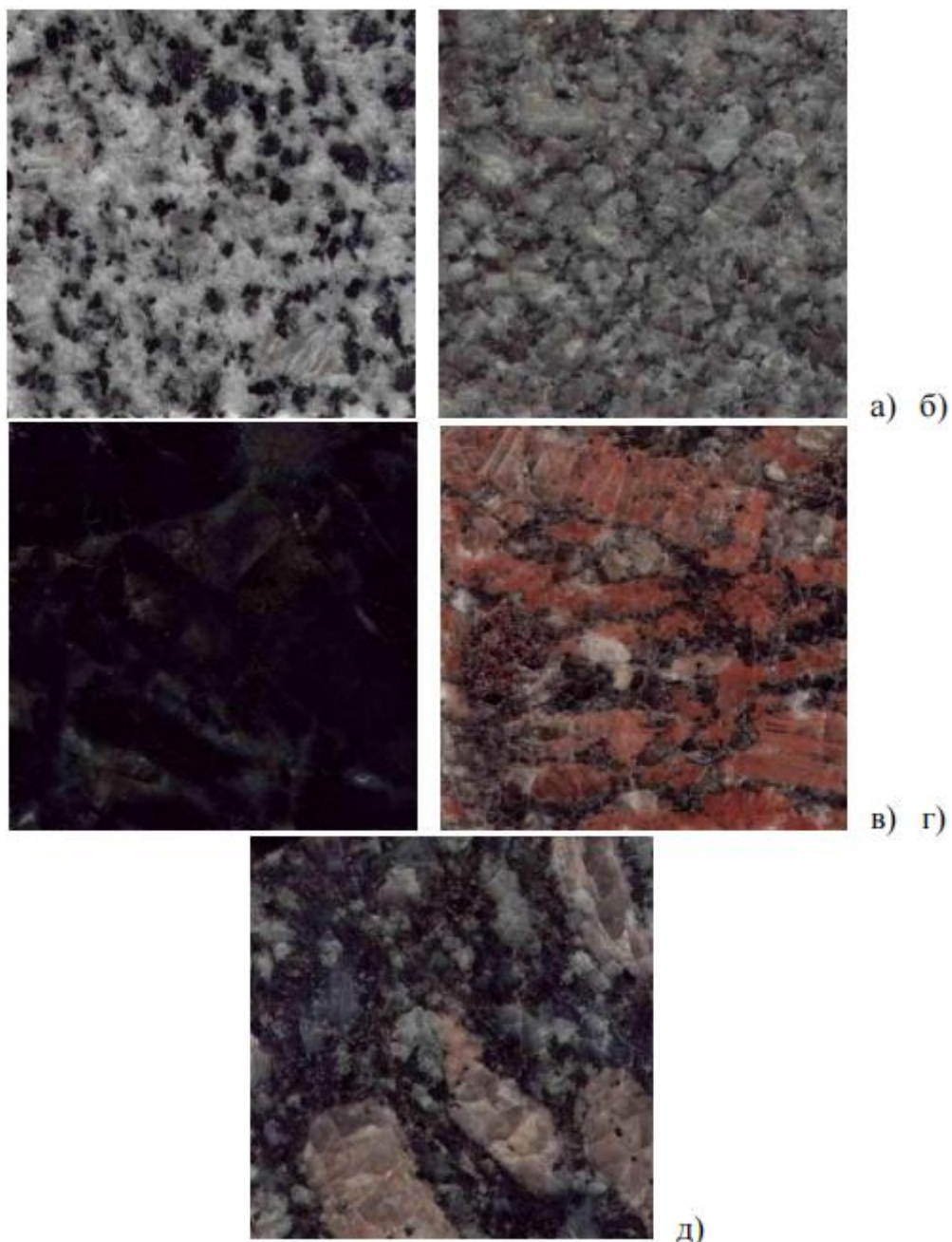


Рис. 6.1. Відеозображення поверхні промислових виробів з природного каменю: а) зображення №1; а) зображення №1; б) зображення №2; в) зображення №3; г) зображення №4; д) зображення №5

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Слід зауважити, що одним з найважливіших способів зменшення обсягу відеозображення (тобто його стиснення) є вибір оптимальних параметрів розподільчої здатності для яскравості, кольору та просторових ознак елементів відеозображення. Перевищення цих параметрів понад видимі людським оком значення призведе лише до збільшення обсягу відеозображення без покращення його візуальної якості. На відміну від цього, при вимірюванні механічних параметрів об'єктів потрібно вибирати такі значення параметрів, що забезпечать необхідну точність вимірювальної відеоінформації. Основним параметром алгоритму стиснення є таблиця квантування частотних коефіцієнтів, отриманих на основі вейвлет-перетворення. Змінюючи елементи цієї таблиці, можна змінювати коефіцієнт стиснення. Крім того, вона впливає на точність відтворення відеозображення після стиснення. Розглянемо критерії оцінки похибок вимірювальної інформації, відновленої після стиснення. Оскільки при цьому може бути втрачена інформація, що представляє інтерес, бажано мати засоби кількісних оцінок характеру і величини втрат інформації. В основу такого визначення можуть бути покладені як суб'єктивні, так і об'єктивні числові критерії точності відтворення. Основним є критерій середньоквадратичного відхилення (СКВ) різниці між початковим і відновленим відеозображеннями. Нехай $f(x, y)$ означає

початкове відеозображення, а $\bar{f}(x, y)$ – його наближення, що отримується в результаті операцій стиснення і наступного відновлення. Для будь-яких та

помилка (нев'язка) $e(x, y)$ для елементів відеозображень $f(x, y)$ і $\bar{f}(x, y)$

визначається як
$$e(x, y) = \bar{f}(x, y) - f(x, y)$$
 а величина повної невід'язки двох відеозображень дорівнює $f(x, y)$, де розміри відеозображення дорівнюють $M \times N$. Величина середньоквадратичного відхилення $e_{СКВ}$ різниці відеозображень і буде дорівнює:

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		

$$\|e(x, y)\| = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left[\bar{f}(x, y) - f(x, y) \right]^2$$

Іншим об'єктивним критерієм вірності відтворення є співвідношення «сигнал-шум» для відновленого відеозображення. Якщо розглядати відновлене відеозображення як суму початкового відеозображення $\bar{f}(x, y)$ і шуму, доданого результаті стиснення, то співвідношення

«сигнал-шум» буде дорівнювати:

$$e_{CKO} = \left[\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left[\bar{f}(x, y) - f(x, y) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Результати чисельного моделювання та експериментальних досліджень вейвлет-стиснення цифрових відеозображень

Іншим об'єктивним критерієм вірності відтворення є співвідношення «сигнал-шум» для відновленого відеозображення. Якщо розглядати відновлене відеозображення як суму початкового відеозображення $\bar{f}(x, y)$ і шуму, доданого результаті стиснення, то співвідношення «сигнал-шум» буде дорівнювати:

$$SNR_{CK} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left[\bar{f}(x, y) \right]^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left[\bar{f}(x, y) - f(x, y) \right]^2}$$

Результати чисельного моделювання та експериментальних досліджень вейвлет-стиснення цифрових відеозображень

Стиснення тестових відеозображень (рис. 4.6) виконувалося за допомогою безкоштовної версії програми ACDSee. Використовувався метод

стиснення JPEG 2000, заснований на wavelet-перетворенні.

Було обрано декілька рівнів стиснення з коефіцієнтами стиснення (відношенням об'єму цифрових даних початкового відеозображення до об'єму стиснутих даних) 100:1, 50:1, 25:1, 10:1, 8:1, 4:1, 2:1 та 1:1. При стисненні 100:1 візуально якість відеозображення значно погіршувалась,

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

тому такий режим був прийнятий як режим максимального стиснення, який варто використовувати для подібних відеозображень. Стиснення 1:1 було прийнято до розгляду для оцінки максимально можливої якості, яка зберігається при вейвлет-перетворення цифрових відеозображень.

Стиснення проводилося для оригінальних кольорових відеозображень та для їх напівтонових (відтінки сірого) еквівалентів.

Для відновлених після стиснення відеозображень було виконано аналіз на наявність похибок відтворення кольору та геометричних параметрів об'єктів.

Похибки відтворення кольору об'єктів

Похибки відтворення кольору можна розглядати як загальну міру відхилення значень кольору стиснутого відеозображення відносно початкового:

$$\Delta = \sum_{i=1}^3 k_i \Delta_i,$$

де $i \in 1, 2, 3$ – номер каналів для передачі кольору (в даному випадку: R (червоний), G (зелений), B (синій)), відповідно $k_1 = 0.3$, $k_2 = 0.59$, $k_3 = 0.11$.

Значення i обчислюються за формулою:

$$\Delta_i = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (Y_{vost.}(x, y, i) - Y_{orig.}(x, y, i))^2}$$

Похибки відтворення кольору об'єктів обчислювалися для кольорових відеозображень та їх напівтонових еквівалентів окремо. Основною відмінністю між цими підрахунками було те, що у кольорового відеозображення 3 кольорових канали, а у напівтонового 1.

Текст програми для підрахунку похибки відтворення кольору об'єктів для кольорового відеозображення:

```
file_original = 'st5_512x512.bmp'
```

```
file_vost = 'st5_512x512_4.bmp'
```

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		69

```

inf_original = imfinfo(file_original);
inf_vost = imfinfo(file_vost);
image_original = imread(file_original);
image_vost = imread(file_vost);
koef = [0.3 0.59 0.11]
delta = 0;
for color_channel = 1:3
channel_original =
double(image_original(:,:,color_channel));
channel_vost = double(image_vost(:,:,color_channel));
channel_quad_summ = 0;
for i = 1:inf_original.Width
for j = 1:inf_original.Height
channel_quad_summ = channel_quad_summ +
(channel_vost(i,j) - channel_original(i,j))^2;
end
end
deltaT =
sqrt(channel_quad_summ/(inf_original.Width*inf_original.Height))
delta = delta + koef(color_channel) * deltaT;
end

```

В змінні file_original, file_vost заносимо назви відеозображень, які досліджуємо. В даному прикладі це st5_512x512.bmp (файл початкового відеозображення), st5_512x512_4.bmp (файл ідеозображення, стиснутого з коефіцієнтом 4:1).

```

inf_original = imfinfo(file_original);
inf_vost = imfinfo(file_vost);

```

В

inf_original

та

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

inf_vost

заносимо інформацію про

відеозображення, використовуючи функцію imfinfo(). До цієї інформації належать: назва файлу, дата останнього редагування, розмір файлу у байтах, формат відеозображення, версія формату, висота, ширина, глибина кольору (кількість байт для зберігання кольору одного пікселя) та тип кольору.

```
image_original = imread(file_original);
```

```
image_vost = imread(file_vost);132
```

За допомогою функції imread() читаємо безпосередньо самі

початкове та відновлене відеозображення і записуємо отримані дані у змінні

```
image_original, image_vost.
```

Далі в циклі знаходимо значення виразу

для похибки

$M \times Y$

$A_{vost} \times y \text{ і } A_{orig} \times y \text{ і}$

1 1

. (, ,) . (, ,) та поміщуємо його у змінну channel_quad_summ.

```
for i = 1:inf_original.Width
```

```
for j = 1:inf_original.Height
```

```
channel_quad_summ = channel_quad_summ +
```

```
(channel_vost(i,j) - channel_original(i,j))^2;
```

```
end
```

```
end
```

Тут channel_vost та channel_original – це двовимірні масиви,

елементами яких є значення для кожного пікселя відеозображення

відповідного кольору (червоного, зеленого чи синього). Їх розмірність

рівна розмірам відеозображення. $\Delta T =$

$\sqrt{\text{channel_quad_summ}/(\text{inf_original.Width} \times \text{inf_original.Height})}$

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		71

В змінну deltaT записуємо значення похибки для поточного кольору.

$\text{delta} = \text{delta} + \text{koef}(\text{color_channel}) * \text{deltaT};$

В delta записуємо загальне значення похибки відтворення кольору об'єктів.

Приклад результат виконання програми:

>>

file_original = st5_512x512.bmp

file_vost = st5_512x512_4.bmp

koef = 0.3000 0.5900 0.1100

deltaR = 0.9533

deltaG = 0.8644

deltaB = 1.0118

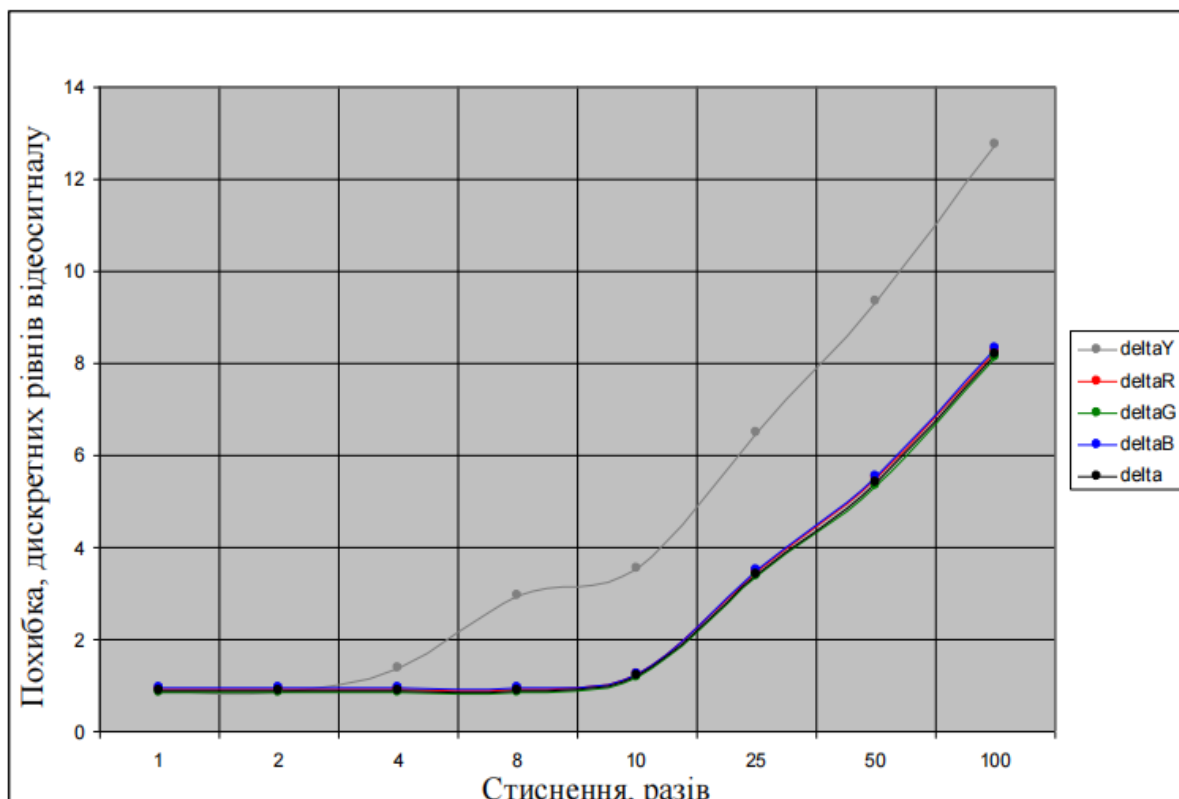
delta =

0.9072

Три значення deltaR, deltaG, deltaB відповідають похибкам для червоного, зеленого та синього кольорів відповідно, delta – загальне значення похибки відновленого кольорового відеозображення, deltaY – значення похибки відновленого напівтонового відеозображення.

За допомогою цієї програми було знайдено значення похибки відтворення кольору об'єктів для усіх п'яти відеозображень (див. рис. 7.2), стиснутих з усіма наведеними коефіцієнтами. Далі було побудовано графіки залежності похибки відтворення кольору об'єктів від коефіцієнту стиснення. За допомогою цієї програми було знайдено значення похибки відтворення кольору об'єктів для усіх п'яти відеозображень (див. рис. 7.2), стиснутих з усіма наведеними коефіцієнтами. Далі було побудовано графіки залежності похибки відтворення кольору об'єктів від коефіцієнту стиснення

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		



Стиснення тестових відеозображень (рис. 6.2) було виконано за допомогою безкоштовної версії програми ACDSee, використовуючи метод стиснення JPEG 2000, заснований на wavelet-перетворенні. Було обрано кілька рівнів стиснення з коефіцієнтами стиснення (відношенням обсягу цифрових даних початкового відеозображення до обсягу стиснутих даних) 100:1, 50:1, 25:1, 10:1, 8:1, 4:1, 2:1 та 1:1. При стисненні 100:1 візуально якість відеозображення значно погіршувалася, тому цей режим був прийнятий як максимальний рівень стиснення, який варто використовувати для таких відеозображень. Стиснення 1:1 було прийнято для оцінки максимально можливої якості, яка зберігається при wavelet-перетворенні цифрових відеозображень. Стиснення проводилося для оригінальних кольорових відеозображень та для їх напівтонових (відтінки сірого) еквівалентів. Для відновлених після стиснення відеозображень був проведений аналіз на наявність похибок.

Надійність – це здатність виконувати задані функції протягом певного часу, зберігаючи експлуатаційні показники в допустимих межах. Для оцінки надійності використовують різні кількісні показники, такі як інтенсивність

відмов, середній наробіток на відмову (MTBF) та ймовірність безвідмовної роботи.

Основні показники надійності:

- Ймовірність безвідмовної роботи системи на заданий час.
- Параметр потоку відмов.
- Середнє напрацювання до відмови.

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

Ймовірність безвідмовної роботи – ймовірність, що в межах певного періоду часу відмова пристрою не відбудеться. Відмова – подія, що виникає внаслідок порушення працездатного стану об'єкта. Інтенсивність відмов – сума ймовірностей появи відмов. Середнє напрацювання до відмови – математична величина, яка очікує напрацювання об'єкта до його першої відмови.

Виріб використовується в таких умовах:

- температура навколишнього середовища +20 °С;
- 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.

1.Інтенсивність відмов

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (6.1)$$

2.Середній наробіток до відмови (MTBF)

$$MTBF = \frac{\sum T_i}{N} \quad (6.2)$$

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

де $\sum T_i$ — сумарний час роботи всіх компонентів до відмови, N — кількість відмов.

3.Ймовірність безвідмовної роботи ($R(t)$)

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (6.3)$$

Приклад розрахунків

Вихідні дані:

- Час роботи системи до відмови для кожного компонента: $T_1, T_2, \dots, T_N$
- Кількість компонентів системи: N
- Сумарний час роботи до відмови: $\sum T_i = 50000$ годин
- Кількість компонентів: $N=5$

Розрахунок МТBF:

$$MTBF = \frac{50000}{5} = 10000 \text{ годин} \quad (6.4)$$

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\text{Де } \lambda = \frac{1}{10000} = 0.0001 \text{ відмов/годину}$$

Таблиця 6.1 – Ймовірність відмов по групам приладів

Години	100	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
$P(t)$	0.990	0.951	0.904	0.818	0.740	0.670	0.607	0.549	0.496	0.449	0.405	0.368

Формула для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (6.5)$$

де $\lambda=0.0001$

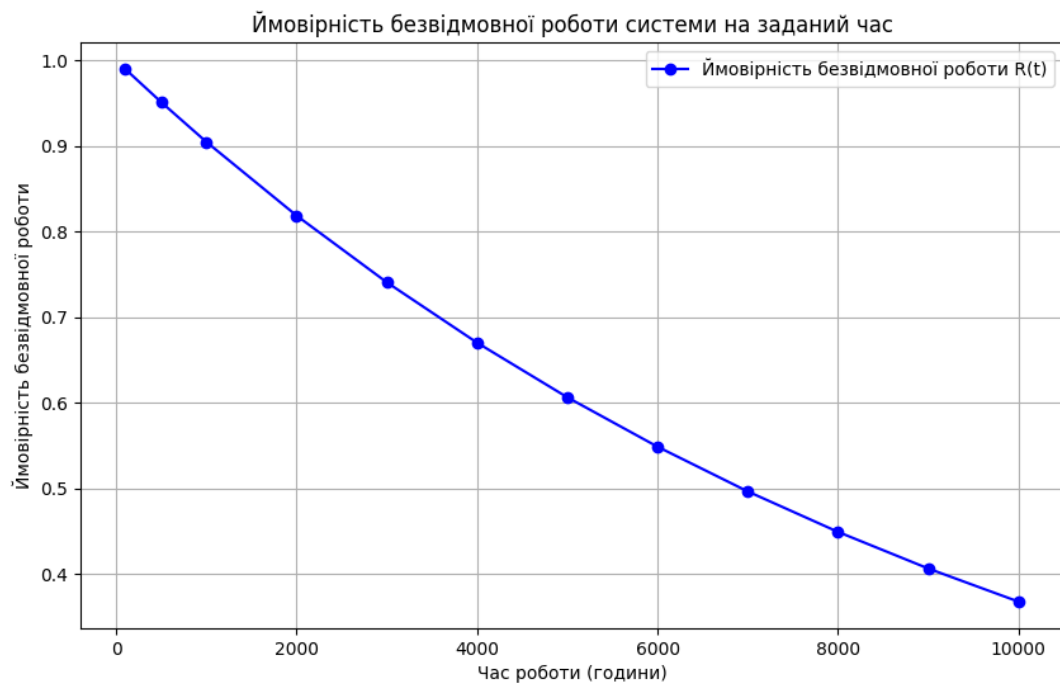


Рисунок 6.3: Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Використовуючи дані, я розрахував основні показники надійності та побудували таблицю ймовірності відмов для різних годин роботи. Це дозволяє оцінити надійність системи і зробити відповідні висновки.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Охорона праці

Охорона праці - це комплекс заходів та правил, спрямованих на забезпечення безпеки та здоров'я працівників під час виконання їх трудових обов'язків. Основною метою охорони праці є запобігання нещасним випадкам, професійним захворюванням та іншим негативним наслідкам, які можуть виникнути на робочому місці.

Охорона праці включає такі аспекти:

1. Ідентифікація та оцінка ризиків: Визначення потенційних небезпек та оцінка ймовірності їх виникнення. Це включає аналіз робочого середовища, розробку процедур та інструкцій щодо безпеки.

2. Запобігання нещасним випадкам: Встановлення безпечних робочих процесів та умов, використання безпечного обладнання, забезпечення правильного зберігання та перевезення матеріалів, навчання працівників правилам безпеки.

3. Медичний контроль та догляд: Забезпечення медичних оглядів працівників, виявлення та лікування професійних захворювань, надання першої допомоги у разі потреби.

4. Навчання та освіта: Проведення тренінгів та навчань з охорони праці для працівників, інформування щодо потенційних ризиків, надання інструкцій щодо правил безпеки.

5. Правове регулювання: Встановлення законодавчих норм та стандартів щодо охорони праці, включаючи вимоги до робочого середовища, обладнання, організації роботи та обов'язкових заходів безпеки.

Охорона праці є важливою складовою будь-якого робочого місця, оскільки вона сприяє забезпеченню безпеки, здоров'я та добробуту працівників, а також зменшує втрати для підприємства, пов'язані з нещасними випадками та захворюваннями.

7.2. Розробка заходів з охорони праці

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

Основні фактори ризику:

1. Ергономічні фактори: тривала робота за комп'ютером може призвести до зорового напруження, м'язово-скелетних порушень та інших проблем зі здоров'ям.
2. Психофізіологічні фактори: робота в умовах шуму, вібрації, монотонності та стресу може призвести до втоми, зниження концентрації уваги та збільшення ризику помилок.
3. Електричні фактори: ризик ураження електричним струмом при роботі з комп'ютерним обладнанням.
4. Випромінювання: вплив електромагнітного випромінювання від комп'ютерів та інших електронних пристроїв.
5. Токсичні речовини: вплив шкідливих речовин, що виділяються з будівельних матеріалів, меблів, офісного обладнання тощо.
6. Небезпека травмування: ризик травмування при роботі з промисловими об'єктами та обладнанням.

Заходи щодо захисту працівників:

- Ергономічне проектування робочого місця: забезпечення зручного комп'ютерного крісла, столу, монітора та інших елементів робочого місця.
- Режими праці та відпочинку: дотримання режиму праці та відпочинку, чергування роботи за комп'ютером з іншими видами діяльності, фізичні вправи.
- Захисні засоби: використання захисних окулярів, берушів, респіраторів та інших засобів індивідуального захисту.
- Технічне обслуговування: регулярне технічне обслуговування комп'ютерного обладнання та промислових об'єктів.
- Навчання та інструктаж: проведення навчання та інструктажу з питань охорони праці для працівників, які експлуатують КСКП.
- Медичний контроль: проведення медичних оглядів працівників.

7.3 Охорона праці при роботі з комп'ютером

Основні принципи та правила:

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Адк.
						78
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Ергономіка робочого місця:

1. Розташування комп'ютера: Монітор повинен бути розташований так, щоб верхній край екрана був на рівні або трохи нижче рівня очей користувача. Відстань від очей до екрана має становити 50-70 см.

2. Стіл та стілець: Робочий стіл повинен бути достатньо просторим для розміщення всього необхідного обладнання. Стілець повинен мати регульовану висоту, спинку та підлокітники для забезпечення правильної підтримки спини та рук.

Освітлення:

1. Природне світло: Найкраще працювати при природному світлі, уникаючи прямих сонячних променів на моніторі.

2. Штучне освітлення: Рекомендується використання додаткового настільного світильника з регульованим напрямком світла для забезпечення оптимального освітлення робочої зони.

Режим праці та відпочинку:

1. Регулярні перерви: Рекомендується робити перерви кожні 60 хвилин роботи за комп'ютером, тривалістю 5-10 хвилин, для зменшення навантаження на очі та м'язи.

2. Гімнастика для очей: Кожні 20 хвилин слід робити вправи для очей, такі як фокусування на віддаленому об'єкті протягом кількох секунд, а потім на ближньому.

Положення тіла та робоча поза:

1. Сидіння: Спина повинна бути прямо, ноги - на підлозі або на підставці, руки - на рівні ліктів, зап'ястя - пряма лінія при наборі тексту.

2. Рухливість: Регулярно змінюйте положення тіла, щоб уникнути застою крові та напруження м'язів.

Захист від електромагнітного випромінювання:

1. Відстань: Тримайтеся на безпечній відстані від монітора та інших електронних пристроїв, щоб зменшити вплив електромагнітного випромінювання.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Док.
						79
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат		

2. Вентиляція: Забезпечте добру вентиляцію приміщення для зменшення концентрації шкідливих речовин, які можуть виділятися з електронних пристроїв.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ВИСНОВОК

У цій дипломній роботі було розроблено комп'ютеризовану систему контролю якості поверхні промислових виробів на основі фрактальних моделей. Система використовує фрактальний аналіз для виявлення та оцінки дефектів на поверхні виробів.

Система складається з наступних компонентів:

- Модуль зчитування зображення: Зчитує зображення поверхні виробу з камери або файлу.
- Модуль обробки зображення: Передпроцесингує зображення, видаляє шум та готує його до аналізу.
- Модуль фрактального аналізу: Розраховує фрактальну розмірність локальних ділянок зображення.
- Модуль класифікації: Класифікує локальні ділянки зображення як дефектні або бездефектні на основі фрактальної розмірності.
- Модуль візуалізації: Візуалізує результати аналізу, включаючи зображення з позначеними дефектами та гістограму фрактальної розмірності.

Система була протестована на наборі даних зображень поверхонь промислових виробів з різними типами дефектів. Результати тестування показали, що система може ефективно виявляти та оцінювати дефекти з високою точністю.

Практична цінність розробленої системи полягає в наступному:

- Покращення якості промислових виробів за рахунок своєчасного виявлення та усунення дефектів.
- Зниження витрат на виготовлення та ремонт виробів.
- Підвищення продуктивності та ефективності роботи виробничих ліній.

Перспективи подальшого розвитку системи:

- Розширення набору підтримуваних типів дефектів.
- Розробка алгоритмів для автоматичного усунення дефектів.
- Інтеграція системи з системами автоматизованого управління

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

виробництвом.

Ця дипломна робота продемонструвала, що фрактальний аналіз може бути ефективним інструментом для контролю якості поверхонь промислових виробів. Розроблена система може бути використана на різних підприємствах промисловості для покращення якості продукції та підвищення ефективності виробництва.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Традиційні системи контролю якості:

1. "Traditional Optical and Contact-Based Surface Inspection Methods" - порівняння традиційних методів контролю якості поверхні.[Електронний ресурс][Optical Inspection for Industrial Quality and Process Control - ScienceDirect](#)
- 2.Wyko NT9100 Optical Profiler:[Електронний ресурс]
[WYKO NYT9100 — Columbia Nano Initiative](#)
3. Veeco Wyko Profilometer:[Електронний ресурс]
[Wyko NT1100 \(Optical Profiler\) | ArtisanTG™](#)
- 4.Bruker ContourGT Surface Metrology System:[Електронний ресурс]
[Bruker Corporation - Bruker Releases New Benchmark 3D Optical Microscope System](#)
5. Zygo NewView Surface Profilometer:[Електронний ресурс]
[NewView™ 9000 \(zygo.com\)](#)
6. Цифрова камера:[Електронний ресурс]
[Wikipedia - Digital Camera](#)
7. Макрооб'єктив:[Електронний ресурс]
[Wikipedia - Macro Lens](#)
8. Комп'ютер ASUS TUF Gaming F15:[Електронний ресурс]
[ASUS TUF Gaming F15 - Tech Specs | Laptops For Gaming | ASUS Global](#)
8. Raspberry Pi Camera Module V2:[Електронний ресурс]
[Buy a Raspberry Pi Camera Module 2 – Raspberry Pi](#)
9. Raspberry Pi Camera Lens Kit:[Електронний ресурс]
[Camera - Raspberry Pi Documentation](#)
- 10.П44 Стиснення та перетворення цифрових відеозображень з вимірювальною інформацією про геометричні параметри об'єктів: Монографія//Розробник:Подчашинський Ю.О.2019 – 200 с.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Адк.
						83
Зм.	Адк.	№ докум.	Підпис	Дат		

11.Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр» // Розробники: Подчашинський Юрій, Чепюк Ларіна, Петросян Руслан, 2021. – 60с.

					МММТ 480.009.011- ПЗ	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		