

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Механічний факультет  
Кафедра метрології та БЖД

## ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ МІЖ  
ДВОМА ЗОБРАЖЕННЯМИ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ  
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ АВТОНОМНОГО  
МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.



І. В. Грайворонська

Керівник, д-р. техн. наук, проф.



О. В. Полярус

Студентка гр. ММ-61-22



Д. П. Гмиря

Харків – 2023

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет механічний  
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності  
Освітній рівень другий (магістерський)  
Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
Освітня програма «Інтелектуальні інформаційно-вимірювальні технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

 **О. І. Богатов**

«11» жовтня 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Гмирі Дар'ї Павлівні**

1. Тема роботи: "Дослідження точності вимірювання відстані між двома зображеннями в інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі автономного мобільного робота".

Керівник роботи Полярус Олександр Васильович, д-р. техн. наук, проф.

Затверджені наказом по університету від "11" жовтня 2023 р. № 130 .

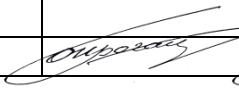
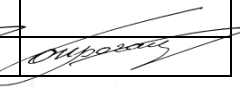
2. Строк подання студентом роботи 30.11.2023 р.

3. Вхідні дані до роботи: 1) Типові вимірювальні системи для виявлення наземних орієнтирів при навігації роботів; 2) Фотографії різноманітних однорідних і неоднорідних ділянок місцевості; 3) Фотографії об'єктів, що розпізнаються системою.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1. Вступ; 2. Критерії класифікації можливих наземних орієнтирів для навігації автономних мобільних роботів; 3. Метрологічний аналіз відстані Хаусдорфа між двома зображеннями; 4. Результати класифікації наземних орієнтирів на фоні реальних зображень місцевості з використанням інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи; 5. Оцінка похибок визначення відстані між двома зображеннями для модельних ситуацій; 6. Рекомендації щодо практичного впровадження запропонованого методу; 7. Охорона праці і навколишнього середовища; 8. Висновок; 9. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): плакати (слайди); 1 Результати досліджень у вигляді схем та графіків.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів проекту, що їх стосуються:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
7	Богатов О. І.		

7. Дата видачі завдання «13» вересня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури	20.09.2023	виконано
2	Аналіз наявних вимірювальних систем роботів для їх автономної навігації	30.09.2023	виконано
3	Критерії класифікації можливих наземних орієнтирів для навігації автономних мобільних роботів	01.10.2023	виконано
4	Метрологічний аналіз відстані Хаусдорфа між двома зображеннями	20.10.2023	виконано
5	Результати класифікації наземних орієнтирів на фоні реальних зображень місцевості з використанням інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи	01.11.2023	виконано
6	Оцінка похибок визначення відстані між двома зображеннями для модельних ситуацій	10.11.2023	виконано
7	Рекомендації щодо практичного впровадження запропонованого методу	15.11.2023	виконано
8	Формулювання висновків	20.11.2023	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	23.11.2023	виконано
10	Створення презентації на Power Point	25.11.2023	виконано
11	Подання роботи керівнику.	30.11.2023	виконано
12	Подання роботи на рецензію.	01.12.2023	виконано
13	Допуск до захисту.	05.12.2023	виконано

Студентка \_\_\_\_\_



Гмиря Д. П.

Керівник роботи \_\_\_\_\_



Полярус О. В.

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 92 с., 28 рис., 6 табл., 1 додаток, 28 джерел.

АВТОНОМНИЙ МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, ВІДСТАНЬ ХАУСДОРФА,  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА,  
НАЗЕМНИЙ ОРІЄНТИР

Об'єкт дослідження – класифікація зображень, що отримані відеокамерою інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи автономного мобільного робота.

Предмет дослідження – визначення відеокамерою відстані Хаусдорфа між зображеннями для оцінки належності одного з зображень до класу наземних орієнтирів для автономного мобільного робота.

Мета роботи – розробка методики класифікації наземних орієнтирів для автономних мобільних роботів на основі вимірювання відстані між зображеннями, що отримані відеокамерою.

Метод дослідження – порівняння зображень опорного орієнтиру та об'єкту на основі вимірювань відстані Хаусдорфа в інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі автономного мобільного робота.

В магістерській роботі проведені дослідження достовірності правильної класифікації орієнтирів на відкритій місцевості інтелектуальною інформаційно-вимірювальною системою мобільного автономного робота.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	7
Вступ.....	8
1 Аналіз наявних вимірювальних систем роботів для їх автономної навігації .....	11
1.1 Автоматичне виділення контурів зображень відеокамери.....	12
1.2 Формування вектору ознак для розпізнавання орієнтирів.....	24
1.3 Методи обчислення відстані Хаусдорфа.....	25
1.4 Демонстрація відстані Хаусдорфа (ВХ) в найпростіших ситуаціях.....	27
2 Критерії класифікації можливих наземних орієнтирів для навігації автономних мобільних роботів.....	30
2.1 Результати моделювання відстані Хаусдорфа для орієнтирів в умовах реальних зображень місцевості.....	30
2.2 Результати моделювання відстані Хаусдорфа для орієнтирів в умовах реальних зображень місцевості.....	31
3 Метод визначення порогового значення відстані Хаусдорфа.....	43
3.1 Основні фактори, що впливають на точність визначення порогової відстані Хаусдорфа.....	43
3.2 Результати моделювання середніх значень кольору по стовпцям матриці зображення.....	49
4 Обґрунтування структури інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи для оцінки якості віднесення об'єкту до класу наземних орієнтирів для автономного мобільного робота.....	53
4.1 Первинні вимірювальні пристрої ІВІС .....	57
4.2 Система обробки сигналів в ІВІС.....	58

4.3 Інтелектуальні алгоритми вимірювання .....	61
4.4 Система прийняття рішення.....	62
5 Охорона праці і навколишнього середовища.....	64
Висновки.....	75
Перелік посилань.....	77
Додаток А Ілюстративний матеріал до дипломної роботи .....	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,  
ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АМР – автономний мобільний робот

ВХ – відстань Хаусдорфа

ПВС — інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система

ПВХ – порогове значення відстані Хаусдорфа

ШІ – штучний інтелект

АСУТП - автоматизовані системи управління технологічними процесами

## ВСТУП

Війни, землетруси, техногенні катастрофи та інші надзвичайні ситуації викликали необхідність широкого застосування повітряних та наземних роботів для виконання багатьох небезпечних завдань. Вплив спеціально організованих та ненавмисних завад, а також умови рятувальних та інших робіт часто відсікають апаратуру роботів від систем GPS. Тоді перевага віддається автономним мобільним роботам (AMR), які здатні самостійно вирішувати навігаційні завдання на незнайомій місцевості, причому незнайомою може стати будь-яка добре відома територія після військових дій, пожеж, аварій або впливу аномальних природних факторів. Створені раніше цифрові карти місцевості в таких умовах можуть стати недостовірними, а створення нових карт потребує багато часу і іноді є недоцільним, бо обстановка на місцевості може змінюватись. Отже, AMR повинен самостійно за короткий час зорієнтуватись на місцевості, що змушує знайти будь-які особливості на місцевості, до яких можна "прив'язатись". Найкращим варіантом є знаходження деякого нерухомого стійкого наземного орієнтиру або орієнтирів, відносно яких можна відраховувати координати положення робота на місцевості. Все це означає, що AMR повинен створити локальну систему координат, в якій він буде виконувати поставлене завдання. Розміри наземного орієнтиру, з одного боку, мають бути великими, щоб його можна було легко виявити, а, з іншого боку, малими по горизонтальній координаті, щоб зменшити систематичні похибки визначення дальності до орієнтиру. В найбільшій мірі цим вимогам задовольняє циліндричний об'єкт малого радіусу, до якого з деяким наближенням можна віднести металевий чи дерев'яний стовп, стовбур високого дерева, вертикальну трубу індустріального характеру тощо. Не можна нехтувати також зосередженими у просторі іншими орієнтирами, наприклад, будівлями, дорожньою інфраструктурою або елементами природного ландшафту. Вони є непридатними для "прив'язки" в



локальній системі координат, але інформація про їх форму, що вноситься в пам'ять комп'ютера АМР, може допомогти роботі орієнтуватись на складному маршруті. На таких маршрутах робот може втрачати з поля свого зору попередній орієнтир і тому необхідно завчасно переключатись на інший орієнтир і коректувати локальну систему координат. Настав час для використання систем штучного інтелекту в навігаційних системах АМР.

Автономна навігація роботів включає кілька етапів:

- виявлення об'єктів, які, можливо, у визначеному діапазоні часу на окремих ділянках місцевості стануть для робота наземними орієнтирами;
- розпізнавання цих об'єктів, їх класифікація, а також прийняття рішення про вибір належного орієнтиру або відмову від цього вибору;
- створення локальної системи координат з використанням вибраних орієнтирів і оцінювання можливих систематичних похибок визначення положення АМР в цій системі.

В дипломній роботі розглядаються перші два етапи, а третій етап може бути реалізований методом картографування з використанням орієнтирів і мінімізацією території шляхом поділу зони руху робота [1]. В [2] проаналізовані результати дослідження тривимірної карти, що створюється автономним роботом на основі інтеграції CCD камери (Charge-Coupled Device) та Photonic Mixer Device. Головним напрямком досліджень дипломної роботи є проблеми, що випливають з завдань другого етапу, зокрема, визначення ймовірності правильної класифікації. Перед цим необхідно виявити бажані об'єкти з допомогою бортової апаратури АМР, яка може включати активні та пасивні засоби. Активні засоби містять системи, що випромінюють електромагнітні або ультразвукові хвилі. Комплексне їх використання робить ці засоби всепогодними і незалежними від часу доби. Основним їх недоліком є створення ними ненавмисних завад, тобто розсіяного багатьма нерухомими елементами місцевості вторинного випромінювання, що надходить на вхід приймача. Як наслідок, виявлення можливих орієнтирів, що розміщені на фоні

лісу, кущів, будівель тощо стає неможливим. Пасивні засоби виявлення, наприклад, відео камери здатні забезпечити автоматичне виявлення наземних орієнтирів, які відрізняються від фону кольором, але вони не спроможні виконувати поставлені завдання в нічний час, хоча частково подібні проблеми можуть вирішуватись приладами нічного бачення. В дипломній роботі навігаційні проблеми розв'язуються з використанням відео камер, але разом з ними для визначення дальності до об'єктів в багатьох випадках бажано застосовувати активні засоби.

Метою дипломної роботи є розробка методики класифікації наземних орієнтирів для автономних мобільних роботів на основі вимірювання відстані між зображеннями, що отримані відеокамерою.

## 1 АНАЛІЗ НАЯВНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ РОБОТІВ ДЛЯ ЇХ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ

Щоб виявити наземний орієнтир необхідно знайти його відмінності від інших об'єктів на місцевості. В [3] такими ознаками є, по-перше, колір, який визначається з допомогою кольорової гістограми, по-друге, текстура, яка оцінюється на основі вейвлету Габора, і, по-третє, форма, яка розраховується при перетворенні Хафа. Розпізнавання здійснюється з використанням 12 різних мір відстані як метричних, так і неметричних. Рекомендації щодо виявлення посушливих зон з супутників на основі порівняння об'єктно-орієнтованих та піксельних методів розроблені в [4]. Метод вилучення відмінних ознак, який є інваріантним щодо масштабу та обертання зображення, описано в [5]. Він ґрунтується на зіставленні окремих ознак з базою даних. Для підвищення якості класифікації об'єктів в [6] з зібраної інформації на основі контекстного методу приймаються рішення. В [7] запропоновано розділення властивостей об'єктів за їх причинним походженням. Аналіз комплексного використання всіх кольорів та форм [8] підвищує ефективність розпізнавання об'єктів. В [9] для зменшення розмірності даних зображення використовується метод головних компонент, а для виділення просторової структури – вікна фільтрації. Отримані багатомасштабні ознаки аналізуються методом опорних векторів. Виявлення змін на місцевості при тривалому спостереженні здійснюється в [10] з використанням пікселів та об'єктів. Останній підхід є більш придатним, оскільки в умовах високої роздільної здатності камер він зменшує шуми. Для випадків розмиття зображень, що обумовлені рухом камери, в [11] розроблена автоматична фільтрація зображень, які отримані безпілотними літальними апаратами. Розмитість зображень аналізується на основі виявлення його країв, розрахунків частотних спектрів та інших методів. Нарешті, завдання розпізнавання об'єктів на зображеннях можуть здійснюватися нейронними мережами, а навчальна вибірка для мережі може збільшуватися шляхом доповнення даних за технологією Data Augmentation [12].

Основне завдання дипломної роботи – виявлення об'єктів заданої форми, які можна віднести до орієнтирів. Цього можна досягти шляхом оцінки відповідності зображень: зображення еталонного орієнтира з відомою формою і кольором і зображення реального предмета в кадрі. Методи оцінки подібності вже застосовувалися в області обробки цифрових зображень. Вони ґрунтуються на оцінці форми гистограми, кластеризації, ентропії, міри подібності, розподілу ймовірностей високого порядку, кореляції між пікселями, локальних характеристик зображення та інших. Ці методи не застосовувалися для класифікації зображень наземних орієнтирів на фоні довільної місцевості. В останнє десятиліття були представлені методи оцінки подібності зображень за допомогою відстані Хаусдорфа між двома наборами пікселів.

### 1.1 Автоматичне виділення контурів зображень відеокамери

Автоматичне виділення контурів зображень відеокамери – це процес виявлення об'єктів на зображенні за їхніми контурами. Цей процес може бути використаний для різних цілей, таких як:

1. Виявлення рухомих об'єктів;
2. Класифікація об'єктів;
3. Обробка зображень для комп'ютерного зору;
4. Сегментація зображень.

Існує багато різних методів автоматичного виділення контурів, але всі вони ґрунтуються на тому, що об'єкти на зображенні мають більш різкі зміни яскравості або контрасту між собою та фоном.

Одним із найпростіших методів автоматичного виділення контурів є використання порогового відсікання. Цей метод полягає в тому, що зображення розбивається на пікселі, і для кожного пікселя визначається, чи є він темнішим або світлішим за певний пороговий рівень. Піксели, які перевищують або не досягають цього порогового рівня, вважаються контурами.

Іншим методом автоматичного виділення контурів є використання методу Собеля. Цей метод полягає в тому, що для кожного пікселя зображення розраховується його відхилення від фону. Піксели, які мають велике відхилення, вважаються контурами.

Метод Робертса також є одним із методів автоматичного виділення контурів. Цей метод схожий на метод Собеля, але він використовує лише два напрямки відхилення.

Методом Лапласа також можна виділити контури на зображенні. Цей метод полягає в тому, що для кожного пікселя зображення розраховується його відхилення від середнього значення в його околиці. Піксели, які мають велике відхилення, вважаються контурами.

Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки. Метод порогового відсікання є простим у реалізації, але він може не працювати добре для зображень із багатьма шумами. Метод Собеля та метод Робертса є більш складними у реалізації, але вони можуть працювати краще для зображень із шумами. Метод Лапласа є найбільш складним у реалізації, але він може працювати краще для зображень із багатьма деталями.

Для автоматизації процесу виділення контурів зображень відеокамери можна використовувати спеціальні алгоритми або програмне забезпечення. Це програмне забезпечення може бути використане для виявлення руху, класифікації об'єктів та обробки зображень для комп'ютерного зору.

Приклади застосування автоматичного виділення контурів зображень відеокамери:

1. Автоматична реєстрація руху в системах відеоспостереження;
2. Автоматична класифікація об'єктів на зображеннях;
3. Автоматична сегментація зображень;
4. Обробка зображень для комп'ютерного зору.
5. Переваги автоматичного виділення контурів зображень відеокамери:
6. Автоматизація процесу виділення контурів;
7. Висока точність виділення контурів;

## 8. Можливість використання для різних цілей.

Недоліки автоматичного виділення контурів зображень відеокамери:

1. Можливі похибки виділення контурів;
2. Залежність від якості зображення.

Похибки автоматичного виділення контурів зображення можуть бути викликані різними факторами, такими як:

— Шум на зображенні. Шум може призвести до того, що контури будуть виділені неточно або не повністю.

— Нерівномірність освітлення. Нерівномірне освітлення може призвести до того, що контури будуть виділені нерівномірно.

— Складні об'єкти. Складні об'єкти, такі як об'єкти з тонкими деталями або об'єкти, що перекриваються, можуть бути важко виділити точно.

— Неправильний вибір параметрів алгоритму. Параметри алгоритму автоматичного виділення контурів можуть впливати на точність виділення контурів.

Деякі з поширених типів похибок автоматичного виділення контурів:

— Неповне виділення контурів. Цей тип похибок виникає, коли деякі частини контуру не виділяються.

— Помилкове виділення контурів. Цей тип похибок виникає, коли контури виділяються неправильно або не існують на зображенні.

— Перекриття контурів. Цей тип похибок виникає, коли два або більше контурів виділяються як один.

Для зменшення похибок автоматичного виділення контурів можна використовувати різні методи:

— Фільтрація шуму. Фільтрація шуму може допомогти зменшити вплив шуму на зображення.

— Нормалізація освітлення. Нормалізація освітлення може допомогти зменшити вплив нерівномірного освітлення на зображення.

— Складні алгоритми. Складні алгоритми автоматичного виділення контурів можуть бути більш точними, ніж прості алгоритми.

Для зменшення похибок автоматичного виділення контурів необхідно:

— використовувати якісне зображення з низьким рівнем шуму і рівномірним освітленням.

— використовувати алгоритм автоматичного виділення контурів, який підходить для типу зображення, яке обробляється.

— налаштовувати параметри алгоритму автоматичного виділення контурів.

За допомогою цих методів можна зменшити похибки автоматичного виділення контурів і отримати більш точні результати.

Моделювання похибок визначення контурів зображень – це процес створення математичної моделі, яка описує ймовірність виникнення помилок при виділенні контурів зображень. Така модель може бути використана для оцінки точності виділення контурів і для розробки методів зменшення помилок.

Існує кілька різних підходів до моделювання похибок визначення контурів зображень. Один із підходів полягає в використанні статистичних моделей. При цьому підході використовуються статистичні дані, такі як розподіл шуму на зображеннях, для моделювання ймовірності виникнення помилок.

Інший підхід полягає в використанні механістичних моделей. При цьому підході використовуються механічні моделі, такі як моделі руху пікселів, для моделювання ймовірності виникнення помилок.

Ще один підхід полягає в використанні штучного інтелекту. При цьому підході використовуються алгоритми машинного навчання для навчання моделі на наборі даних зображень, на яких вже відомі помилки визначення контурів.

Моделі похибок визначення контурів зображень можуть бути використані для різних цілей. Вони можуть бути використані для:

— оцінки точності виділення контурів;

- розробки методів зменшення похибок;
- прогнозування ймовірності виникнення похибок.

Ось деякі з переваг використання моделей похибок визначення контурів зображень:

- вони можуть допомогти оцінити точність виділення контурів;
- вони можуть допомогти розробити методи зменшення похибок;
- вони можуть допомогти прогнозувати ймовірність виникнення похибок.

Недоліками використання моделей похибок визначення контурів зображень є:

- складність і трудомісткість розробки.
- Неможливість досягнення високої точності для всіх типів зображень.

Загалом, моделі похибок визначення контурів зображень є цінним інструментом для оцінки точності виділення контурів і для розробки методів зменшення помилок.

Після 2013 року було опубліковано багато статей, присвячених виділенню контурів зображення відеокамери. Деякі з основних статей приведені в [32]-[37].

Ці статті пропонують різні методи виділення контурів, які мають свої переваги та недоліки. Деякі з цих методів є більш точними, ніж інші, але вони також можуть бути більш складними в реалізації.

В [32] описано метод виділення контурів, який використовує багатомасштабний аналіз для підвищення точності виділення контурів у шумних зображеннях.

В [33] проаналізовано метод виділення контурів, який використовує адаптивне порогоування для підвищення точності виділення контурів з урахуванням шуму.

В [34] запропоновано адаптивний метод виділення контурів з урахуванням тіней на зображеннях.



В [35] розписано метод виділення контурів, який використовує адаптивне пороговання для підвищення точності виділення контурів у зображеннях із змінами освітлення.

В [36] висвітлено метод виділення контурів, який використовує глибоке навчання для підвищення точності виділення контурів у зображеннях із перекриттями.

В [37] надано огляд методів виділення контурів, які можна використовувати для відеоспостереження.

Ці статті є важливим внеском у дослідження виділення контурів зображення відеокамери. Вони пропонують нові методи виділення контурів, які можуть бути використані для вирішення різних завдань, таких як виявлення руху, класифікація об'єктів та сегментація зображень.

Відстань Хаусдорфа – це метрика, яка вимірює відстань між двома кривими. Вона може бути використана для класифікації зображень шляхом вимірювання відстані між контурами зображень.

Відстань Хаусдорфа широко використовується для класифікації зображень [31, 38-40].

Ці статті пропонують різні методи класифікації зображень, які використовують відстань Хаусдорфа. Деякі з цих методів є більш точними, ніж інші, але вони також можуть бути більш складними в реалізації.

В [31] пропонується метод класифікації зображень, який використовує відстань Хаусдорфа для вимірювання відстані між контурами зображень.

В [38] описано метод класифікації зображень, який використовує відстань Хаусдорфа для вимірювання відстані між контурами зображень. Цей метод також використовує метод адаптивного пороговання для підвищення точності класифікації.

В [39] розглядається метод класифікації зображень, який використовує відстань Хаусдорфа для вимірювання відстані між контурами зображень. Цей метод також використовує метод підтримки векторних машин для підвищення точності класифікації.

В [40] аналізується метод класифікації зображень, який використовує відстань Хаусдорфа для вимірювання відстані між контурами зображень. Цей метод також використовує метод локальних бінарних шаблонів для підвищення точності класифікації.

В [41] показано метод класифікації зображень, який використовує відстань Хаусдорфа для вимірювання відстані між контурами зображень. Цей метод також використовує глибоке навчання для підвищення точності класифікації.

Ці статті є важливим внеском у дослідження класифікації зображень. Вони пропонують нові методи класифікації зображень, які можуть бути використані для вирішення різних завдань, таких як розпізнавання об'єктів, розпізнавання осіб та виявлення аномальних зображень.

Ось деякі з переваг використання відстані Хаусдорфа для класифікації зображень [39]:

— Відстань Хаусдорфа є метрикою, що означає, що вона володіє деякими корисними властивостями, такими як симетрія, транзитивність і невід'ємність.

— Відстань Хаусдорфа є стійкою до шуму, що означає, що вона може бути використана для класифікації зображень, які містять шум.

— Відстань Хаусдорфа є ефективною для обчислення, що означає, що вона може бути використана для класифікації великих наборів даних.

До прикладу, деякі з недоліків використання відстані Хаусдорфа для класифікації зображень:

— Відстань Хаусдорфа може бути неточною для зображень з складними контурами.

— Відстань Хаусдорфа може бути нечутливою до відмінностей в розмірі і орієнтації контурів.

Для розрахунку похибок визначення відстані Хаусдорфа між двома зображеннями можна використовувати наступні методи [40]:

— Метод поділу на класи. При цьому методи зображення розділяються на два класи, наприклад, на зображення автомобілів і зображення людей. Потім для кожного класу обчислюється середня похибка визначення відстані Хаусдорфа.

— Метод крос-валідації. При цьому методи зображення розділяються на кілька наборів даних. Один з наборів даних використовується для навчання алгоритму визначення відстані Хаусдорфа, а інші набори даних використовуються для тестування алгоритму. Потім для кожного набору даних обчислюється похибка визначення відстані Хаусдорфа.

— Метод генерації помилкових зображень. При цьому методи генеруються помилкові зображення, які містять шум, нерівномірність освітлення або інші фактори, які можуть призвести до похибок у визначенні відстані Хаусдорфа. Потім для цих помилкових зображень обчислюється похибка визначення відстані Хаусдорфа.

Далі зазначені деякі з поширених типів похибок визначення відстані Хаусдорфа [40]:

1. Перевищення відстані Хаусдорфа. Цей тип похибки виникає, коли відстань Хаусдорфа між двома зображеннями перевищує фактичну відстань між цими зображеннями.

2. Недосягнення відстані Хаусдорфа. Цей тип похибки виникає, коли відстань Хаусдорфа між двома зображеннями не досягає фактичної відстані між цими зображеннями.

3. Неправильне визначення відстані Хаусдорфа. Цей тип похибки виникає, коли відстань Хаусдорфа між двома зображеннями неправильно розрахована.

Для зменшення похибок визначення відстані Хаусдорфа між двома зображеннями можна використовувати різні [39].

Нижче перелічено деякі поради щодо зменшення похибок визначення відстані Хаусдорфа між двома зображеннями:

1. Використовуйте якісні зображення з низьким рівнем шуму і рівномірним освітленням.

2. Використовуйте алгоритм визначення відстані Хаусдорфа, який підходить для типу зображень, які ви обробляєте.

3. Ретельно налаштуйте параметри алгоритму визначення відстані Хаусдорфа.

За допомогою цих методів можна зменшити похибки визначення відстані Хаусдорфа між двома зображеннями і отримати більш точні результати.

Інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи (ІВІС) — це системи, які використовують штучний інтелект (ШІ) для автоматизації завдань вимірювання. Вони можуть бути використані для різних цілей, таких як вимірювання розмірів об'єктів, визначення форми об'єктів і виявлення дефектів.

ІВІС для виділення контурів зображень використовують ШІ для автоматичного виявлення контурів об'єктів на зображеннях. Це може бути корисно для різних цілей, таких як:

- Автоматичне розпізнавання об'єктів.
- Автоматична сегментація зображень.
- Автоматичне виявлення дефектів.

Існує кілька різних підходів до використання ШІ для виділення контурів зображень. Один із підходів полягає в використанні методів машинного навчання. При цьому підході алгоритм машинного навчання навчається на наборі даних зображень, на яких вже виділені контури об'єктів. Потім алгоритм може використовуватися для автоматичного виділення контурів на нових зображеннях.

Інший підхід полягає в використанні методів штучного інтелекту. При цьому підході використовуються алгоритми ШІ, такі як алгоритми нейронних мереж, для автоматичного виділення контурів на зображеннях.

ІВІС для виділення контурів зображень мають ряд переваг перед традиційними методами виділення контурів. Вони можуть бути більш точними, більш надійними і більш ефективними.

Деякі з переваг ІВІС для виділення контурів зображень [41]:

1. Точність. ІВІС можуть бути більш точними, ніж традиційні методи виділення контурів. Це пов'язано з тим, що ІВІС можуть використовувати ШІ для навчання на наборі даних зображень, на яких уже виділені контури об'єктів.

2. Надійність. ІВІС можуть бути більш надійними, ніж традиційні методи виділення контурів. Це пов'язано з тим, що ІВІС можуть використовувати ШІ для адаптації до різних типів зображень.

3. Ефективність. ІВІС можуть бути більш ефективними, ніж традиційні методи виділення контурів. Це пов'язано з тим, що ІВІС можуть використовувати паралельне обчислення для обробки зображень.

Ось деякі з недоліків ІВІС для виділення контурів зображень:

- Вартість. ІВІС можуть бути дорогими в розробці та реалізації.
- Складність. ІВІС можуть бути складними для розробки і реалізації.
- Обмеження. ІВІС можуть бути обмежені в тому, які типи зображень вони можуть обробляти.

Загалом, ІВІС для виділення контурів зображень є цінним інструментом для автоматизації завдань виділення контурів. Вони можуть бути більш точними, більш надійними і більш ефективними, ніж традиційні методи виділення контурів.

Далі наведено деякі приклади використання ІВІС для виділення контурів зображень[37]:

1. Автоматичне розпізнавання об'єктів на конвеєрних лініях. ІВІС можуть використовуватися для автоматичного виявлення розмірів і форми об'єктів на конвеєрних лініях. Це може допомогти поліпшити ефективність виробництва і зменшити кількість дефектів.

2. Автоматична сегментація зображень для медичної діагностики. ІВІС можуть використовуватися для автоматичного сегментування органів і тканин на медичних зображеннях. Це може допомогти лікарям швидше і точніше діагностувати захворювання.

3. Автоматичне виявлення дефектів на промислових об'єктах. ІВІС можуть використовуватися для автоматичного виявлення дефектів на промислових об'єктах, таких як деталі машин і продукти харчування. Це може допомогти поліпшити якість продукції і зменшити витрати.

Відстань Хаусдорфа - це метрика, яка вимірює відстань між двома кривими. Вона може бути використана для визначення відстані між двома зображеннями шляхом вимірювання відстані між контурами зображень.

Традиційно відстань Хаусдорфа між двома зображеннями визначається за допомогою алгоритму, який використовує послідовний пошук найближчого сусіда. Цей алгоритм може бути неефективним для великих зображень або для зображень з великими контурами.

Штучний інтелект (ШІ) може бути використаний для підвищення ефективності визначення відстані Хаусдорфа між двома зображеннями. Один із підходів полягає в використанні методів машинного навчання. При цьому підході алгоритм машинного навчання навчається на наборі даних пар зображень, для яких відома відстань Хаусдорфа. Потім алгоритм може використовуватися для визначення відстані Хаусдорфа між новими парами зображень.

Інший підхід полягає в використанні методів штучного інтелекту. При цьому підході використовуються алгоритми ШІ, такі як алгоритми нейронних мереж, для визначення відстані Хаусдорфа між зображеннями.

Основні переваги використання ШІ для визначення відстані Хаусдорфа між двома зображеннями [27]:

— Ефективність. ШІ-алгоритми можуть бути більш ефективними, ніж традиційні алгоритми, особливо для великих зображень або для зображень з великими контурами.

— Точність. ШІ-алгоритми можуть бути більш точними, ніж традиційні алгоритми, особливо для зображень з низькою якістю або з шумом.

— Адаптація. ШІ-алгоритми можуть бути адаптовані до різних типів зображень.

Декілька прикладів використання ШІ для визначення відстані Хаусдорфа між двома зображеннями [28]:

— Автоматичне розпізнавання об'єктів. ШІ-алгоритми можуть використовуватися для автоматичного визначення відстані між об'єктами на зображеннях. Це може допомогти поліпшити точність розпізнавання об'єктів.

— Автоматична сегментація зображень. ШІ-алгоритми можуть використовуватися для автоматичного визначення відстані між різними областями на зображеннях. Це може допомогти поліпшити точність сегментації зображень.

— Відстеження руху. ШІ-алгоритми можуть використовуватися для автоматичного визначення відстані між об'єктами на послідовності зображень. Це може допомогти поліпшити точність відстеження руху.

Деякі з поточних досліджень в галузі використання ШІ для визначення відстані Хаусдорфа між двома зображеннями[28]:

— Розробка нових ШІ-алгоритмів для визначення відстані Хаусдорфа.

— Покращення ефективності існуючих ШІ-алгоритмів.

— Розробка ШІ-алгоритмів, які можуть бути адаптовані до різних типів зображень.

Загалом, ШІ є потужним інструментом, який може бути використаний для підвищення ефективності і точності визначення відстані Хаусдорфа між двома зображеннями.

## 1.2 Формування вектору ознак для розпізнавання орієнтирів

Для виявлення об'єктів, які можна класифікувати як орієнтири, необхідно встановити ознаки. Головною ознакою може бути невеликі розміри об'єкта у горизонтальній площині та, навпаки, великі розміри у вертикальній. До такого класу можна віднести стовпи, дерева з добре видимими стовбурами, великі об'єкти, елементи яких виділяються, наприклад, кольором. Основними глобальними характеристиками зображення будемо вважати:

- 1) колір;
- 2) текстуру, що дає інформацію про просторове розташування кольорів або інтенсивності світла на зображенні;
- 3) форму невідомого об'єкту.

В розділі всі ці характеристики об'єднані, тобто визначається форма об'єкту на основі інформації про колір і текстуру. Колір розглядається як сукупність складових червоного, зеленого і синього компонент. Для оцінки форми, як правило, достатньо однієї компоненти. Щоб можна було класифікувати об'єкт на місцевості вводяться опорні форми: для наземного орієнтиру – циліндри малого радіусу, які подібні до стовпів; для інших наземних об'єктів – прямокутники з різним співвідношенням сторін в залежності від завдань, що повинен виконувати АМР. Можливі інші більш складні представлення опорних форм з різними розмірами. Якщо виявиться, що форма реального і опорного об'єктів є близькими, то приймається рішення про виявлення орієнтиру чи іншого об'єкту, який є важливим при навігації робота. Отже, необхідно встановити критерій близькості форм, тобто контурів реального і опорного об'єктів. Це є бібліотека функцій та алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень і чисельних алгоритмів загального призначення з відкритим кодом [13].

Для розпізнавання можливих орієнтирів спочатку формується вектор ознак. В даній главі використовуються тільки геометричні ознаки, які стосовно орієнтирів є менше вивченими. В традиційній геометрії існує багато форм фігур



на площині та у тримірному просторі, наприклад, трикутник, чотирикутник, шестикутник, паралелограм, трапеція тощо. Для задачі, що розглядається, бажано мати малу кількість форм. Всі зазначені форми (трикутник, чотирикутник, коло тощо) є однією і тією ж формою в топології. Тому топологія є узагальненою геометрією. Вона забезпечує істотне зменшення кількості форм. Для розв'язання даної задачі головним є оцінювання близькості форм згідно з вимогами топології, тобто у топологічному просторі, в якому ми відволікаємося від властивостей розміру або точного положення частин фігури в просторі і зосереджуємося тільки на взаємному розташуванні частин. В спрощеному означенні теорії множин топологічний простір – це множина об'єктів, для яких визначено поняття гомеоморфізму моделей, тобто відображень, що зберігають усі топологічні властивості простору. Як наслідок, доведення гомеоморфізму реального і опорного об'єктів є ознакою близькості їх за формою і їх можна вважати однаковими з топологічної точки зору. Однак, для нашої задачі цього недостатньо, оскільки багато наземних об'єктів є однаковими за цією ознакою, наприклад, стовп і будівля прямокутної форми. Звідси впливає необхідність вибору критерію схожості опорних і реальних об'єктів однакової топологічної форми. В топологічному просторі основним критерієм близькості за формою об'єктів є відстань Хаусдорфа.

### 1.3 Методи обчислення відстані Хаусдорфа

Нехай набір точок  $a$  контуру опорного зображення об'єкту є множиною  $A$ , а набір аналогічних точок  $b$  контуру реального зображення – множиною  $B$ . Подібність цих форм описується відстанню Хаусдорфа, яка для непорожніх компактів  $A$  та  $B$  описується формулою [14]

$$\delta_H = \max_{a \in A} \min_{b \in B} d(a,b), \quad (1.1)$$

де  $d(a,b)$  означає міру відстані між точками  $a$  і  $b$ .

З формули (1.1) випливає методика обчислення відстані Хаусдорфа. Перший крок – це визначення контуру реального зображення об'єкту, що може в подальшому вибраний як орієнтир для роботи. До контуру належать всі точки зображення, в яких градієнт складових кольору  $R,G,B$  перевищує наперед вибраний поріг. Контур опорного зображення та координати його точок на матриці відео камери є відомими заздалегідь, а ці характеристики для реального зображення треба обчислювати. Рекомендації щодо відносного розміщення двох зображень та визначення відстані Хаусдорфа сформульовані в [15]. Якщо є афінне перетворення, яке задовольняє вимогам відстані Хаусдорфа, реальне та опорне зображення можуть збігатися [16].

Другий крок – це визначення відстані  $d(a,b)$  від кожної точки  $b$  реального зображення до найближчої точки  $a$  множини  $A$ . Потім з множини цих відстаней вибирається найбільша, яка і є відстанню Хаусдорфа  $\delta_H$  і одночасно ознакою для зіставлення зображень. Як показано в [17], може існувати база даних для ознак і розпізнавання зображень об'єктів відбувається шляхом зіставлення окремих ознак із елементами цієї бази за допомогою алгоритму найближчого сусіда, з подальшим перетворенням Гафа для ідентифікації кластерів, що належать одному об'єкту, і, нарешті, перевіркою правильності рішення методом найменших квадратів.

Описаний метод ґрунтується на безпосередньому визначенню відстані Хаусдорфа з використанням формули (1.1) і є затратним з точки зору обчислювальних ресурсів. В умовах роботи робота в реальному часі це сповільнює формування рішення про наявність чи відсутність відповідних наземних орієнтирів. Отже, існує необхідність в аналізі наявних підходів до визначення відстані Хаусдорфа.

В [14] спочатку алгебраїчно описуються криві, а потім здійснюється обчислення точок перетину ребра Вороного однієї множини з кривими в іншій множині з використанням системи комп'ютерної алгебри SYNAPS. Для задачі,

що розглядається, алгебраїчне подання контуру опорного зображення не викликає труднощів, але опис контуру зображення довільної форми може виявитись складним завданням. Використання модифікованої відстані Хаусдорфа в 3D-просторі до точок S-параметра забезпечує отримання оцінок подібності об'єктів, що показано в [18]. Крім того, для тримірних об'єктів в [19] запропоновано метод визначення відстані Хаусдорфа по проєкціям просторових кривих на площину.

В [20] для зіставлення зображень складної форми, наприклад, людського обличчя запропоновано метод, що ґрунтується на спільному використанні модифікованої відстані Хаусдорфа і нормованого градієнту міри узгодженості фотометричної інтенсивності. В [21] для сегментації медичних зображень використовується збалансована середня відстань Хаусдорфа, яка ранжується для прийняття рішення. Оцінювання відстані Хаусдорфа при лінійних відображеннях множин приведено в [22]. В [23] розроблені правила багатокритеріального прийняття рішень на основі відстані Хаусдорфа. Така відстань, як правило, використовує множини з кінцевою кількістю точок. В [24] вона визначається для функцій набору рівнів, що дає можливість визначити нижню і верхню межу відстані Хаусдорфа та її похибки визначення.

#### 1.4 Демонстрація відстані Хаусдорфа (ВХ) в найпростіших ситуаціях

Позначимо контур опорного зображення суцільною лінією, а реального зображення – пунктирною лінією. Опорним зображенням будемо вважати прямокутник, що відображає вертикальний орієнтир стовпоподібного вигляду. Тоді ВХ  $h$  для реального зображення з вертикальним прямокутним контуром дорівнює відхиленню між контурами по ширині (рисунок 2.1, а)

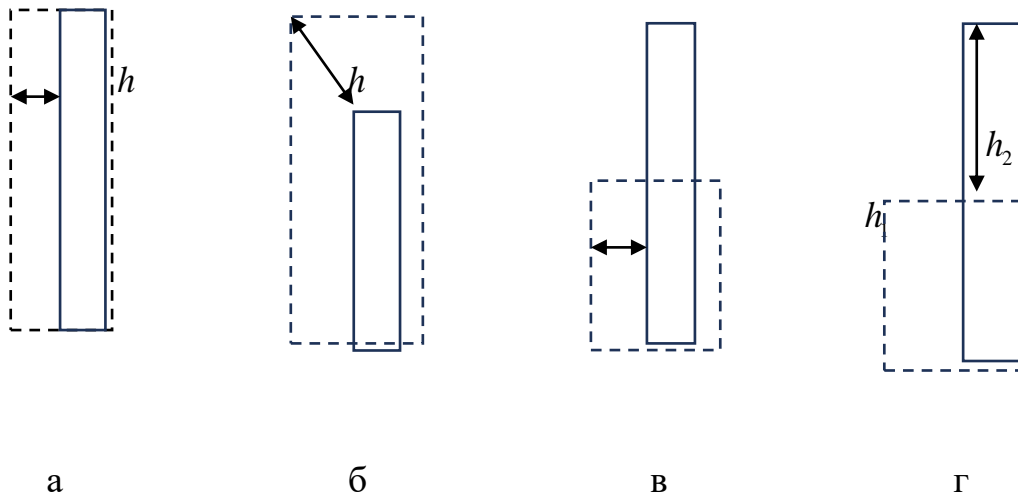


Рисунок 1.1 – Демонстрація відстані Хаусдорфа

Якщо вертикальний розмір опорного зображення менше реального (рисунок 1.1, б), то відстань Хаусдорфа  $h$  збільшується і залежить від співвідношення між розмірами двох зображень. В протилежному випадку (рисунок 1.1, в) ВХ  $h_1$  є аналогічною відстані, що показана на рисунку 1.1, а. Отже, при визначенні ВХ необхідно не допустити, щоб вертикальний розмір опорного зображення був менше аналогічного розміру реального зображення. В ситуації, що приведена на рисунку 1.1, в, ВХ визначається просто, але тоді вертикальний об'єкт малих розмірів може бути прийнятим за орієнтир за критерієм малої ВХ. Це також неприйнятний результат і його можна не допустити, якщо додатково відстань Хаусдорфа буде визначатись від опорного зображення до реального. Ця відстань  $h_2$  демонструється на рисунку 1.1, г. Отже, попередньою підготовчою операцією при визначенні ВХ є вирівнювання вертикальних розмірів реального і опорного зображення на фреймі, але вертикальний розмір реального зображення повинен перевищувати деякий відносний рівень, щоб не допустити можливості вибору малорозмірного орієнтиру, який важко виявляти активними засобами робота при їх спільній роботі з відеокамерами. Вирівнювання вертикальних розмірів двох зазначених зображень створює умови для визначення порогового значення ВХ. Якщо обчислена відстань Хаусдорфа між опорним та реальним зображеннями не буде

перевищувати порогового значення, то будемо вважати, що ці зображеннями належать до одного класу, тобто до класу наземних стовпоподібних орієнтирів. Аналогічно можна вибрати іншу форму опорного зображення і створити інший клас наземних орієнтирів.

Реальне зображення не завжди має форму наперед визначеної геометричної фігури, зокрема, прямокутника. Більше того, ця форма може бути взагалі випадковою і залежною від багатьох причин. Наприклад, вона може змінюватись в залежності від азимуту положення робота та вібрацій відеокамери, освітленості, переміщення рухомих частин об'єкту під дією вітру, зокрема, гілок та листя дерев тощо. Як наслідок, ВХ також стає випадковою величиною. Кожна практична ситуація буде моделюватись по-різному. Звідси випливає ідея заміни реального зображення еквівалентним реальним зображенням, яке має форму відомої геометричної фігури. Відхилення від цієї форми реального зображення буде трактуватись як збільшення дисперсії ВХ.

## 2 КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ МОЖЛИВИХ НАЗЕМНИХ ОРІЄНТИРІВ ДЛЯ НАВІГАЦІЇ АВТОНОМНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

### 2.1 Загальний підхід до вибору критерію

Перша проблема, яку потрібно вирішити, складається у виборі методу порівняння двох зображень за головним параметром – відстанню Хаусдорфа. Виберемо в якості контуру опорного зображення прямокутника: один вузький у горизонтальній площині, який назвемо стовпом, а інший – з сумірними розмірами в горизонтальній та вертикальній площині (прямокутник). Він характеризує деякий двомірний об'єкт. Застосуємо ці прямокутники до різних контурів реальних зображень з метою дослідження залежності ВХ від різних факторів. Контури опорного зображення позначені синім кольором, а контури реального – червоним.

Потім стає легко розрахувати відстань Хаусдорфа до опорного об'єкту.

Якщо реальне зображення можливого орієнтиру являє собою дерево з трикутноподібною формою на кадрі, то залежності середніх значень параметрів кольоровості від горизонтальної координати кадру для різних місцевостей буде мати різний вигляд. Для тих же місцевостей дерево з довільною кроною показує інші результати.

На рисунку 1.1 показана порівняльна діаграма відстаней Хаусдорфа для орієнтирів, що були описані вище.

Інша ситуація спостерігається, коли в якості орієнтиру виступає двовимірний об'єкт, наприклад, будівля з розмірами, які є сумірними у горизонтальній та вертикальній площині. Тоді є необхідність використання двох ВХ: від зображення реального об'єкта до зображення опорного  $h_1$  і від опорного до реального  $h_2$  (рисунок 1, в, г). Для цього підходить поняття ПВХ в обох площинах, а розміри об'єкта визначаються як розміри еквівалентного прямокутника, що описує двовимірний об'єкт. Для автономної навігації роботів

доцільно спрощувати форму можливих наземних орієнтирів. Розміри прямокутника в пікселях підбирають так, щоб ВХ від реального об'єкта та його еквівалентного подання в формі прямокутника до опорного зображення співпадала або була близькою.

## 2.2 Результати моделювання відстані Хаусдорфа для орієнтирів в умовах реальних зображень місцевості

Приклади розрахунків ВХ для різних двовимірних об'єктів на фоні тих типів місцевості, що раніше були вибрані, показано на таблицях 2-10.

Зсув оцінюється у відсотках.

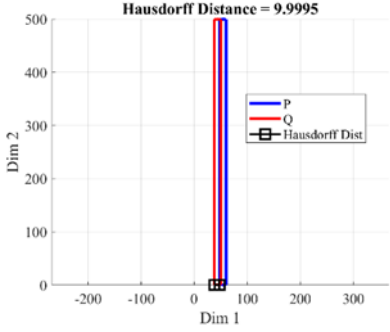
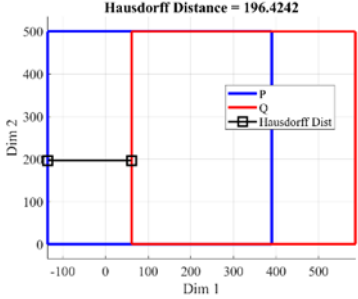
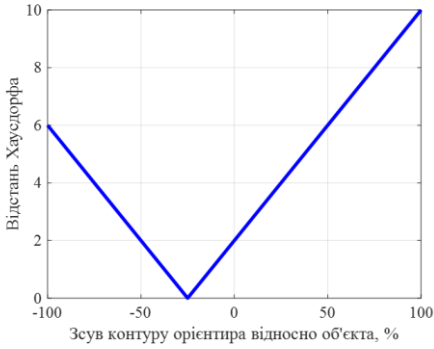
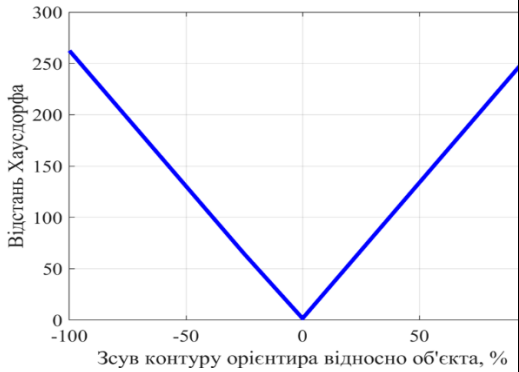
Як впливає з таблиці 1, відстань Хаусдорфа, яка вимірюється у пікселях, є функцією взаємного положення двох стовпів чи прямокутників. При їх суміщенні ВХ є мінімальною і в ідеальному випадку дорівнює нулю. Отже, при класифікації двох ідентичних зображень їх треба суміщати. Рівність нулю означає їх однаковість за формою контуру, хоча, наприклад, колір цих об'єктів може бути різним.

Для зображення реального стовпа (таблиця 2) мінімальна ВХ вже не дорівнює нулю.

Відстань Хаусдорфа є меншою, коли в якості опорного зображення застосовується контур стовпа, а не прямокутника. Ця закономірність виконується для контурів реальних зображень схожих зі стовпом, наприклад для світлофора (таблиця 3).

В меншій мірі це проявляється для контуру зображення башти (таблиця 4). Тут при застосуванні опорних зображень у вигляді стовпа і прямокутника маємо сумірні результати щодо мінімального рівня ВХ, але незначну перевагу має застосування прямокутника. Це означає, що контури башти в даному випадку більше схожі на прямокутник, ніж на стовп.

Таблиця 1 – Демонстрація впливу положення однакових опорного і реального зображень на відстань Хаусдорфа

Контури ідеальних опорного (синій колір) та аналізованого (червоний колір) зображень	
 <p>Hausdorff Distance = 9.9995</p>	 <p>Hausdorff Distance = 196.4242</p>
Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами опорного і аналізованого зображень у вигляді стовпа	Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами опорного і аналізованого зображень у вигляді прямокутника
 <p>Відстань Хаусдорфа</p> <p>Зсув контуру орієнтира відносно об'єкта, %</p>	 <p>Відстань Хаусдорфа</p> <p>Зсув контуру орієнтира відносно об'єкта, %</p>


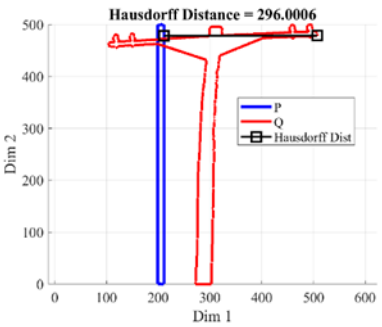
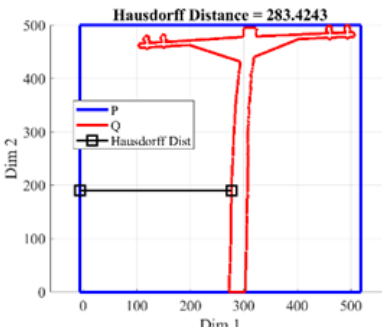
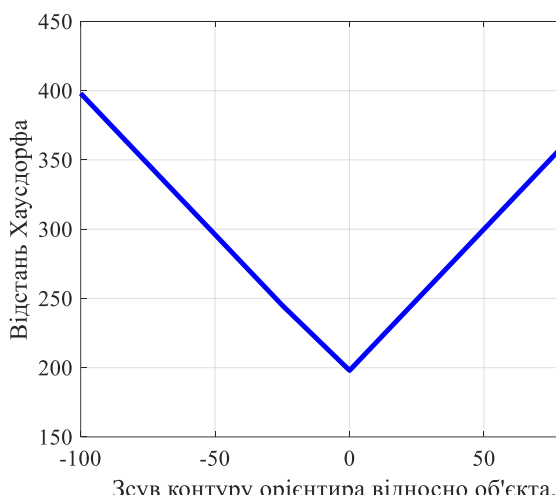
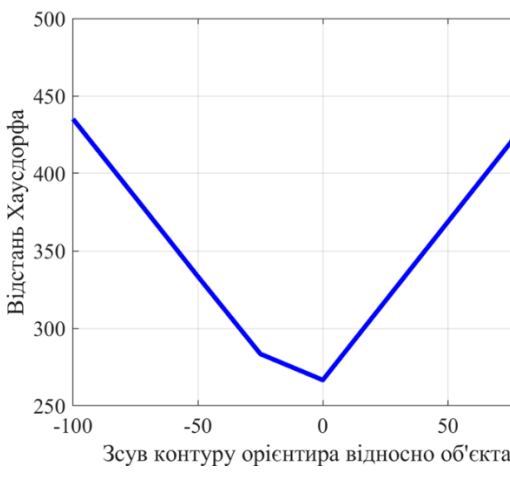
Неоднозначні результати отримуються при визначенні ВХ між контурами опорних зображень і поодиноким деревом. Приклади наведені в таблицях 5-7.

Для багатьох об'єктів завідомо очевидно застосування контуру опорного зображення у вигляді прямокутника. До них належать більшість двовимірних об'єктів, приклади яких показані в таблицях 8-10.

В таблицях 8, 9 показані взаємні положення опорних зображень (стовп, прямокутник) і деяких будівель. Як і раніше, ВХ значно залежить від цих положень, але найменша ВХ досягається у випадку, коли опорне зображення розташоване приблизно посередині реального і це залежить від форми реального зображення.


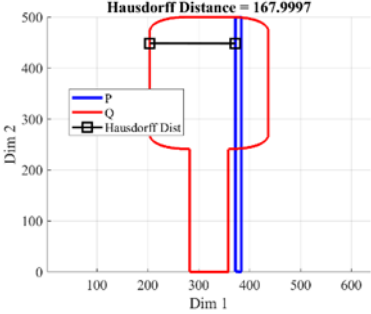
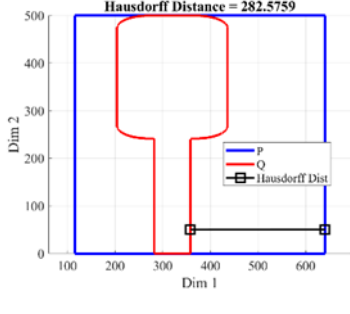
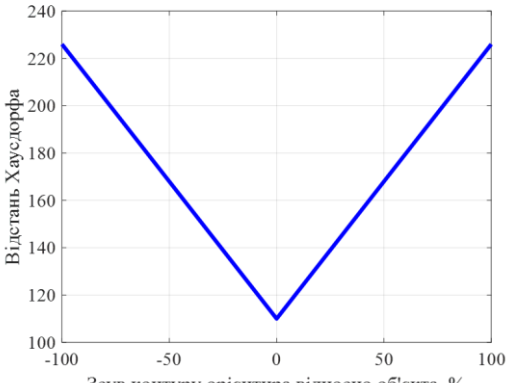
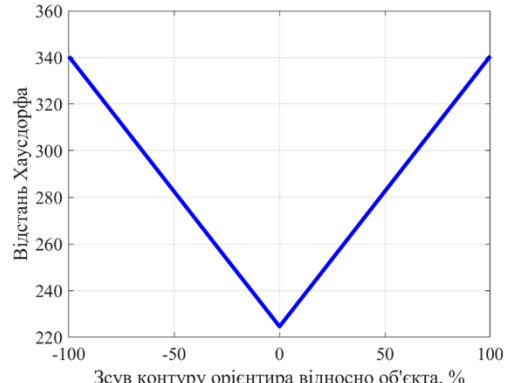


Таблиця 2. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального зображення стовпа на відстань Хаусдорфа

	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
	
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення стовпа</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення стовпа</p>
	

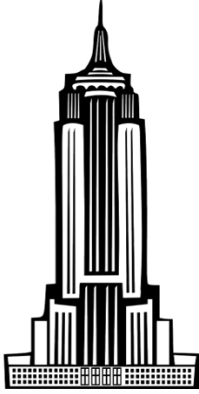
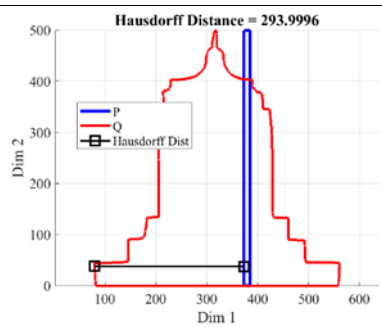
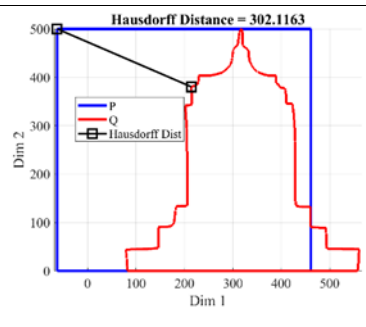
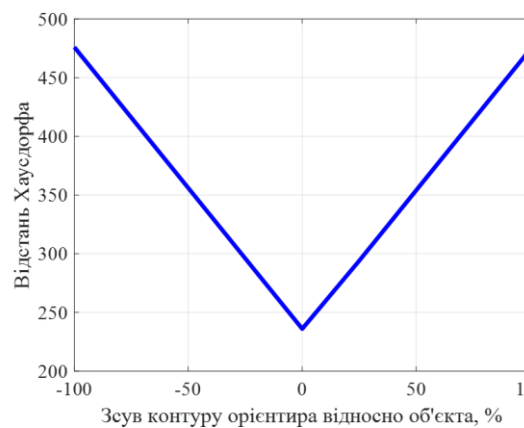
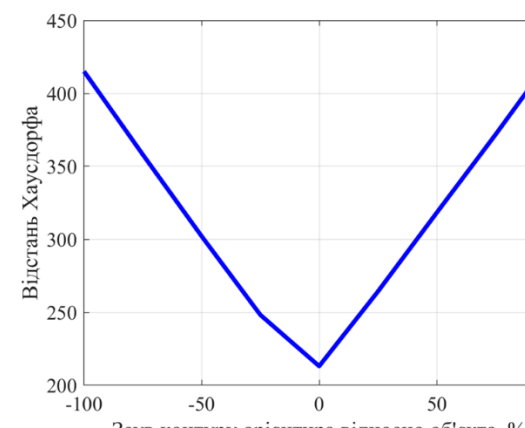
Якщо при порівнянні двох однакових зображень ВХ наближається до нуля, то в цьому випадку мінімальне значення ВХ складає сотні пікселів, що дає можливість віднести стовп і будівлю до різних класів.

Таблиця 3. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального у вигляді світлофора на відстань Хаусдорфа


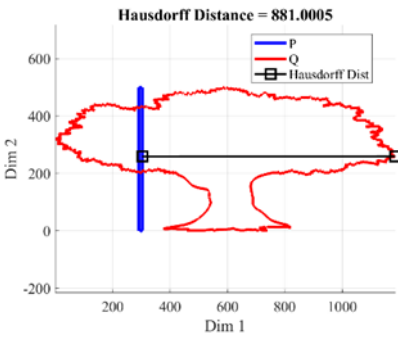

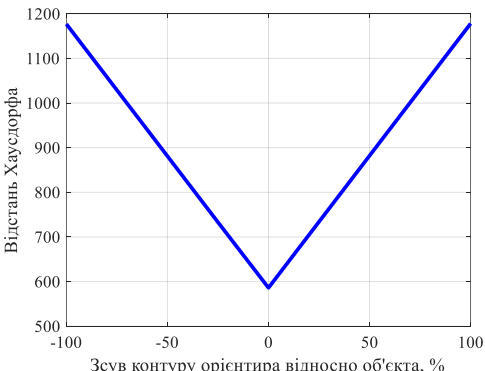
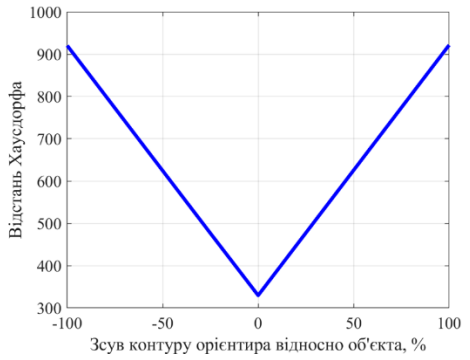
	
Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)	
	
Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення світлофора	Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення світлофора
	

В меншій мірі це проявляється для контуру зображення башти (таблиця 4).


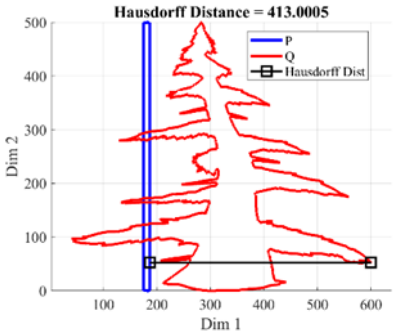
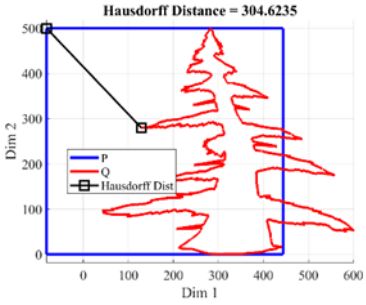
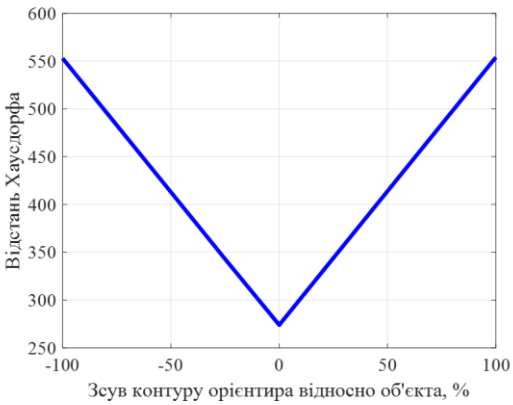
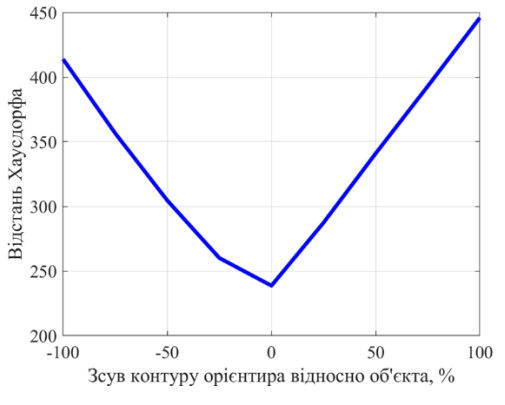
Таблиця 4. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і зображення башти на відстань Хаусдорфа

	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
	
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення башти</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення башти</p>
	


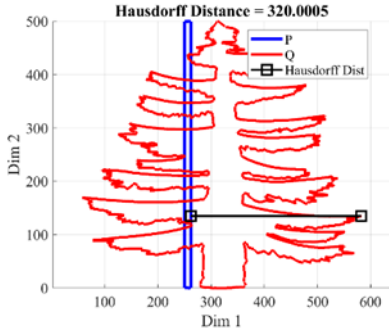
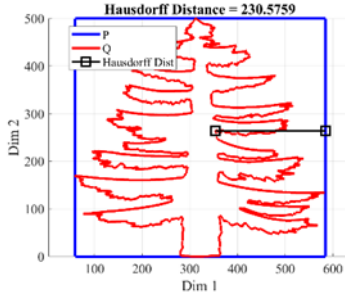
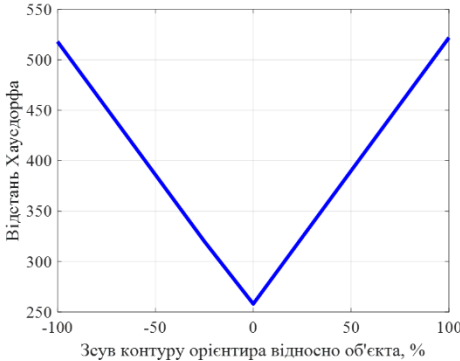
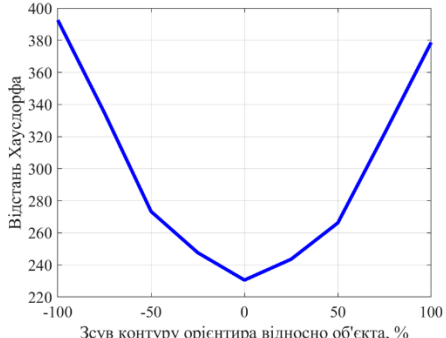
Таблиця 5. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального зображення дерева з широкою кроною на відстань Хаусдорфа

	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
	
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення дерева</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення дерева</p>
	


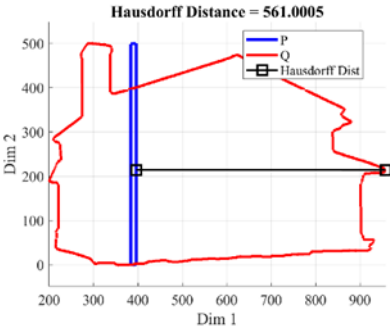
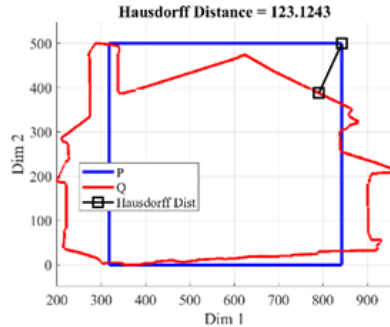
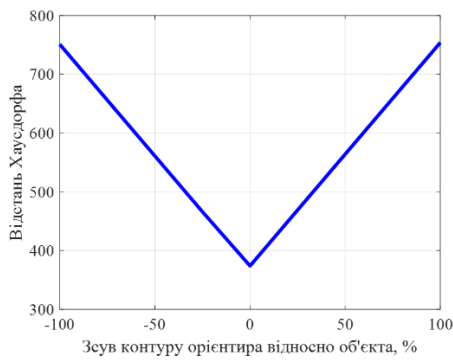
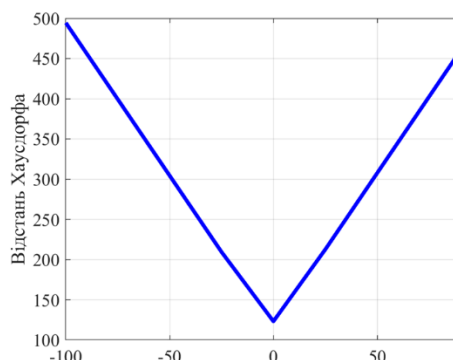
Таблиця 6. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального зображення дерева з нерівним стовбуром та вузькою кроною на відстань Хаусдорфа

	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
	
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення дерева</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення дерева</p>
	


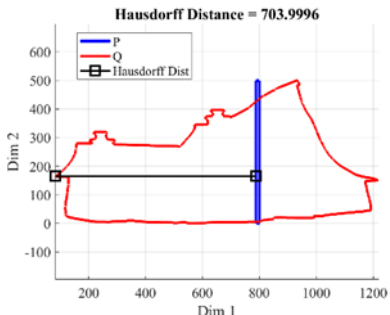
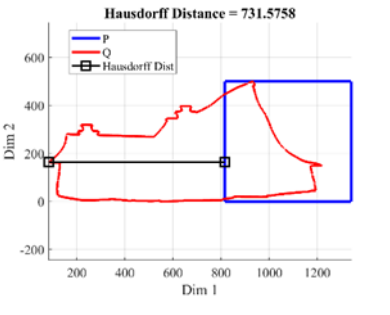
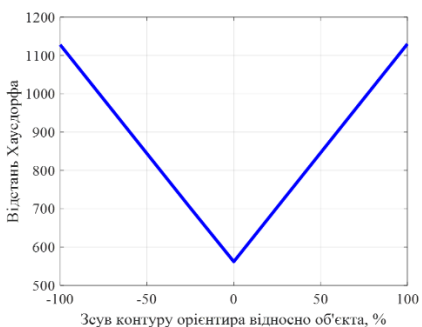
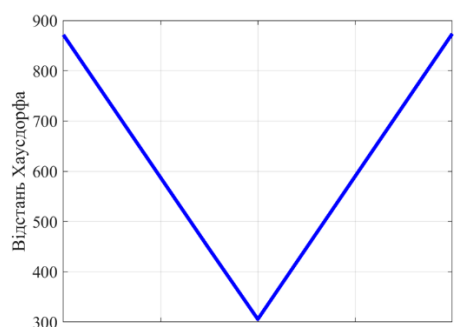
Таблиця 7. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального зображення дерева з вузькою кроною і рівним стовбуром на відстань Хаусдорфа

	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
	
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення дерева</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення дерева</p>
	

Таблиця 8. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального у вигляді будівлі на відстань Хаусдорфа


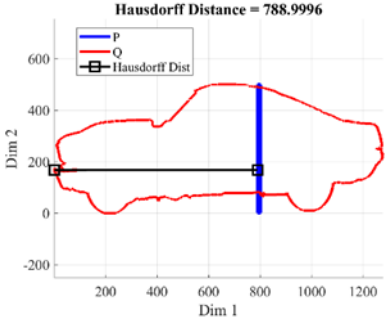
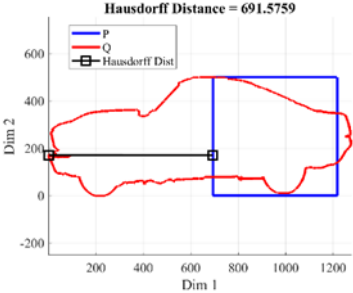
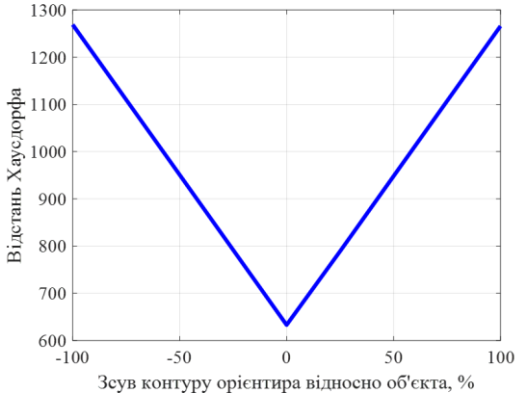
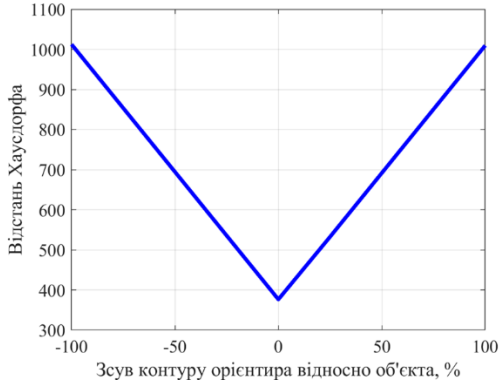
	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
 <p>Hausdorff Distance = 561.0005</p>	 <p>Hausdorff Distance = 123.1243</p>
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення будівлі</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення будівлі</p>
 <p>Відстань Хаусдорфа</p> <p>Зсув контуру орієнтира відносно об'єкта, %</p>	 <p>Відстань Хаусдорфа</p> <p>Зсув контуру орієнтира відносно об'єкта, %</p>

Таблиця 9. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального у вигляді будівлі на відстань Хаусдорфа

	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
	
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення будівлі</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення будівлі</p>
	



Таблиця 10. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального у вигляді автомобіля на відстань Хаусдорфа

	
Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)	
	
Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення автомобіля	Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення автомобіля
	

Якщо ж в якості опорного зображення вибраний контур близький до будівлі, то ВХ значно зменшиться. Для класифікації автомобіля (таблиця 10)

безумовно краще використовувати в якості опорного зображення двовимірний об'єкт.

Як випливає з приведених таблиць, найменша відстань Хаусдорфа досягається, коли опорне зображення розміщено приблизно посередині реального. Якщо реальне зображення має великі розміри (сукупність будівель), то  $VX$  досягає тисячі. Висока башта, хоча і має невелику схожість зі стовпом, але  $VX$  є великою, що не дає можливості віднести її до класу стовпів. Більша схожість стовпа очікується з деревом, яке має вузьку крону.

При розпізнаванні зображень за допомогою  $VX$  доцільно мати набір опорних зображень різного типу. Належність реального зображення до визначеного класу оцінюється по мінімальному значенню  $VX$  при умові, що воно не перевищує порогового значення, яке буде описано в наступному підрозділі. В окремих випадках  $VX$  може визначатись не між контурами опорного та реального зображень, а між контурами опорного та частиною реального зображення, в якості якого може бути вибраним, наприклад, тільки стовбур дерева без крони.

Отже, відстань Хаусдорфа від контуру опорного зображення до контурів зображень різних об'єктів залежить від положення опорного зображення відносно реального, форми зображень, точності визначення контурів реального зображення та інших факторів. Алгоритми обробки інформації апаратури робота повинні мінімізувати  $VX$  для кожного зображення об'єкту шляхом його суміщення з опорним зображенням, а якщо вони значно відрізняються формою і розмірами, то зображення одного з них (найчастіше опорного) розміщується приблизно посередині реального.

Вище в якості опорного зображення для прикладу був взятий реальний стовп, однак для задачі, що розглядається, немає сенсу враховувати верхню частину стовпа. Необхідно використовувати тільки його циліндричну частину, зрізаючи алгоритмічними методами верхню частину зображення.

### 3 МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПОРОГОВОГО ЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ХАУСДОРФА

3.1 Основні фактори, що впливають на точність визначення порогової відстані Хаусдорфа

Одним з головних завдань є визначення порогового значення ВХ (ПВХ), перевищення якого буде свідчити про те, що вибраний на місцевості об'єкт не належить до заданого класу орієнтирів з деякою ймовірністю, яку можна визначити статистичними методами. При виборі ПВХ необхідно обґрунтувати та оцінити:

- 1) вимоги щодо статистичних показників класифікації орієнтирів;
- 2) похибки визначення контуру зображення в різних умовах освітлення, погоди, властивостей реальних об'єктів, технічних характеристик відеокамери тощо;
- 3) область застосування вибраного ПВХ, оскільки для інших опорних зображень він може істотно відрізнятись.

Наступний крок:

— розрахувати ВХ для опорного зображення у вигляді стовпа без верхньої частини, тобто для циліндру малого радіусу; висоти опорного і реального зображення зробити сумірними, тобто однаковими; реальними зображеннями вважати стовп, дерево з широкою і вузькою кронами та поодинокі будівлю;

— розрахувати похибки визначення контуру зображення внаслідок різних впливів: освітлення, оптичних завад тощо.

Як було показано раніше, ВХ є випадковою величиною внаслідок похибок визначення контуру зображення, дії оптичних перешкод, недосконалості відеокамер та систем обробки інформації, умов навколишнього середовища тощо. Порогове значення ВХ можна визначити на основі класичної

статистичної теорії, яка добре представлена в багатьох книжках минулого століття, наприклад, [25]. Для цього потрібно встановити значення допустимої ймовірності хибної тривоги  $F$ , тобто ймовірності того, що у відсутності наземного орієнтиру апаратура робота прийме рішення про його наявність. Для цього введемо поняття завадової ВХ, яка являє собою відстань Хаусдорфа  $h$  до об'єктів навколишнього фону при відсутності в зоні огляду відео камери реальних орієнтирів. Для різних місцевостей закон розподілу випадкових значень завадової ВХ  $p_b(h)$  буде відрізнятися і тут індекс “ $b$ ” означає “background”. При наявності на місцевості багатьох окремих виділених об'єктів спектр ВХ може бути широким і в деяких випадках його доцільно апроксимувати постійним значенням, що є характерним для білого шуму. Наявність в зоні огляду відеокамери орієнтиру приводить до змінювання щільності ймовірностей ВХ  $p_b(h)$ , яка тепер описується іншою функцією  $p_{lb}(h)$ , причому індекс “ $lb$ ” означає “landmark+background”.

Розглянемо ймовірності помилкових рішень. Ймовірність хибної тривоги буде визначатись як

$$F = \int_{h_0}^{\infty} p_{lb}(h)dh, \quad (3.1)$$

де  $h_0$  - порогова відстань Хаусдорфа, що підлягає визначенню. Ймовірність пропуску орієнтиру оцінюється за формулою

$$U = \int_0^{h_0} p_b(h)dh. \quad (3.2)$$

Як впливає з (3.1) і (3.2) зменшення ПВХ приводить до збільшення ймовірності хибної тривоги  $F$ , а з іншого боку, до зменшення ймовірності

пропуску орієнтиру  $U$ . Оптимальне значення ПВХ визначається методом мінімуму середнього ризику:

$$R(h_0) = c_1 U(h_0) + c_2 F(h_0) \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

де  $c_1$  і  $c_2$  є ваговими коефіцієнтами, якими споживач визначає відносну важливість помилкового рішення для навігації роботів, причому  $c_1 + c_2 = 1$ .

Формули (3.1)-(3.3) широко використовуються в радіолокації, технічній діагностиці тощо. При розпізнаванні орієнтирів істотних відмінностей між максимумами розподілів  $p_{lb}(h)$  та  $p_b(h)$  може і не бути і це залежить від виду місцевості, на якій працює робот. Це негативно впливає на якість розпізнавання орієнтирів.

Розглянемо приклад. Нехай закони розподілу  $p_{lb}(h)$  і  $p_b(h)$  є нормальними з середніми значеннями  $h_{lb} = 200$ ,  $h_b = 500$  та дисперсіями  $\sigma_h^2$  ( $\sigma_{lb} = 50$ ,  $\sigma_b = 200$ ). Закони розподілу для конкретного випадку мають вигляд (рисунок 3.1).

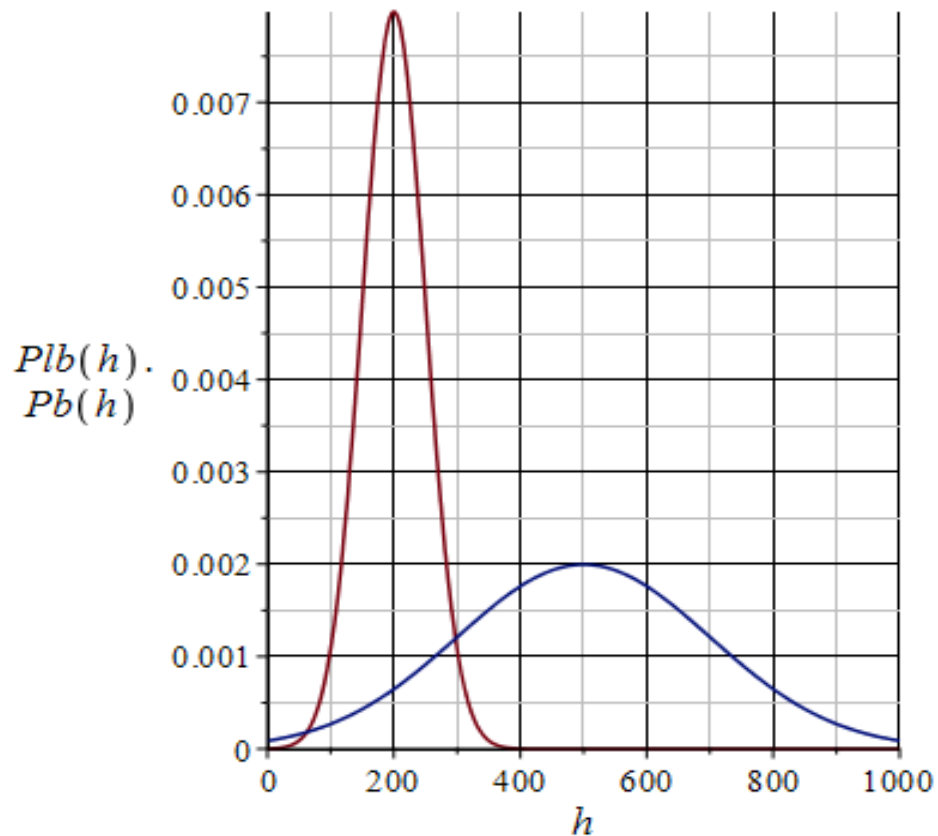


Рисунок 3.1 – Приклад щільності ймовірностей відстані Хаусдорфа: червона лінія –  $p_{lb}(h)$ ; синя лінія –  $p_b(h)$

Графіки залежності ймовірності пропуску орієнтиру  $U$  та хибної тривоги  $F$  від порогового значення ВХ мають вигляд (рисунок 3.2). Слід зазначити, що тут приведені наближені залежності, оскільки інтегрування в (3.1) та (3.2) проводилось в обмеженому діапазоні  $h_0$ . На цьому ж рисунку зеленою лінією показана крива середнього ризику  $R(h_0)$ , мінімум якої дає ПВХ, яка для даного випадку при  $c_1 = 0.7$  і  $c_2 = 0.3$  дає  $h_0 = 278$ .

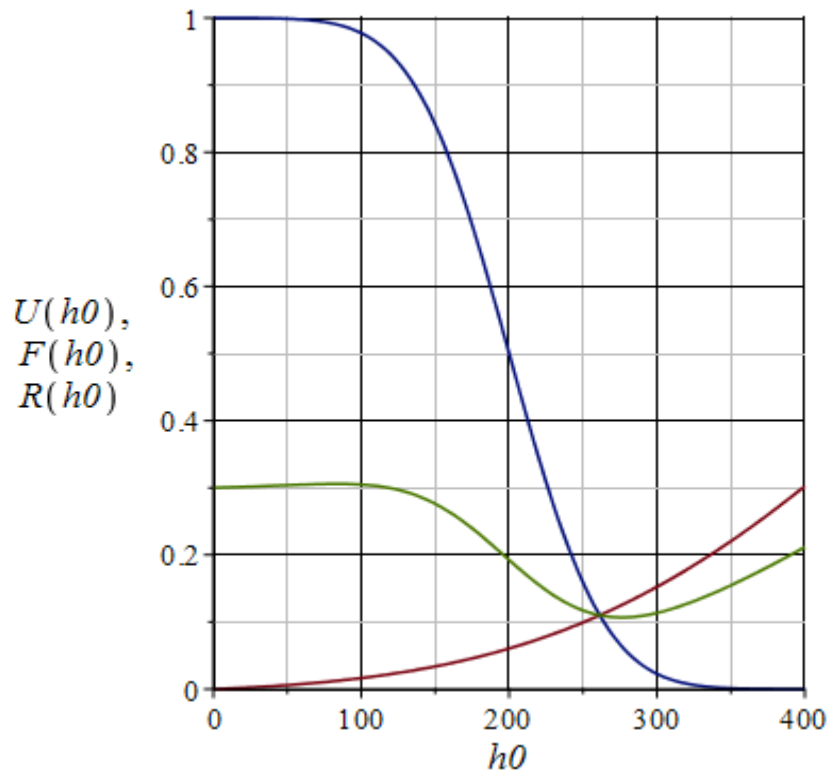


Рисунок 3.2 – Залежність ймовірності пропуску орієнтиру  $U(h_0)$  (червона лінія), ймовірності хибної тривоги  $F(h_0)$  (синя лінія) та середнього ризику  $R(h_0)$  (зелена лінія) від порогового значення відстані Хаусдорфа  $h_0$

Розглянемо тепер методику визначення щільностей ймовірностей  $p_b(h)$  та  $p_{lb}(h)$ . Припустимо, що зображення циліндричного орієнтиру на кадрі відсутнє. В таких умовах можна визначити  $p_b(h)$  шляхом багаторазового визначення ВХ від опорного зображення для різних зображень місцевості, побудови гістограми ВХ і далі щільності ймовірностей  $p_b(h)$  згідно з статистичними критеріями. Якщо опорне зображення стовпа розмістити по центру кадру, то максимальне значення ВХ для суцільних зображень місцевості дорівнює кількості пікселів, що розміщені по горизонталі на половині кадру. Для великих вибірок різних суцільних зображень середнє значення ВХ  $h_b$  дорівнює приблизно четвертій частині від кількості пікселів по горизонталі, а дисперсію  $\sigma_b^2$  слід очікувати невеликою. Якщо зображення не є суцільними, то

наперед передбачити орієнтовні значення середнього значення ПВХ неможливо, а дисперсія  $\sigma_b^2$ , мабуть, збільшиться.

Для отримання  $p_{lb}(h)$  необхідно повторити ті ж самі експерименти, що проведені для визначення  $p_b(h)$ , але на кадрі обов'язково повинен бути присутній орієнтир, який вибирається при моделюванні з бази даних раніше вибраних орієнтирів. При відсутності кореляції між ВХ фону та орієнтиру, що найчастіше можна очікувати, щільність ймовірностей

$$p_{lb}(h) = p_l(h) + p_b(h), \quad (3.4)$$

де  $p_l(h)$  є закон розподілу випадкових ВХ для можливих орієнтирів.

Визначення закону розподілу  $p_{lb}(h)$  в реальних (не модельних) умовах потребує інформації про наявність зображення орієнтиру в кадрі. Для цього можна використати методи виявлення слабо контрастних орієнтирів, що розроблені нами в [26]. Сутність пропозицій включає проведення наступних операцій: отримання сигналів кольоровості з пікселів матриці зображення скануючої по азимуту відеокамери, усереднення сигнали цих кольорів в кожному стовпці матриці, розрахунок середніх розподілів параметрів кольоровості вздовж горизонтальної координати матриці відеокамери, визначення радіусу кореляції цих розподілів, формування зображень в заданому кутовому секторі відеокамери через кут, що відповідає радіусу кореляції, затримання розподілів параметрів кольоровості на визначені дискрети часу та їх сумування і порівняння стрибків або провалів сумарного розподілу з заданим порогом виявлення. Інший метод зводиться до розкладання середніх розподілів на моди перетворення Гільберта-Хуанга, визначення в перших трьох модах стрибків або провалів, порівняння їх з пороговими рівнями параметру кольоровості, які відрізняються для кожної моди і при перевищенні порогових рівнів в двох або трьох модах на однаковій горизонтальній координаті матриці відеокамери приймають рішення про виявлення орієнтирів.



Оскільки головним завданням є виявлення і розпізнавання орієнтирів, які, як правило, витягнуті у вертикальній площині, то слід врахувати, що вони займають велику частину кадру у цій площині, а їх ширина у горизонтальній площині, наприклад, для стовпів є невеликою. Віддалені від робота можливі орієнтири займають невелику частину кадру у вертикальній площині. При навігації робота на локальній ділянці місцевості немає сенсу їх використовувати внаслідок невисокої точності визначення положення робота відносно цих орієнтирів пасивними методами. Отже, вважаємо, що зображення стовпоподібного орієнтиру на матриці відеокамери охоплює декілька стовпців матриці. Зображення стовбура дерева разом з гілками та листями є більш складним і прийнятність використання цього зображення як орієнтиру доцільно оцінювати по рівню ПВХ. Вважаємо також, що хоча б один з параметрів кольоровості  $R, G, B$  для стовпа відрізняється від параметрів кольоровості фонові частини кадру. В [26] показано, що навіть при невеликій різниці зазначених параметрів можна виявити орієнтир шляхом проведення спеціалізованої обробки сигналів. Як правило, колір всіх ділянок стовпа можна вважати приблизно однаковим. Тоді усереднення параметрів  $R, G, B$  по стовпцям матриці відеокамери, які охоплює стовп, мало змінить ці параметри, а їх середні значення по стовпцям для фонових частин місцевості, як правило, відрізняються. Як наслідок, на графіку залежності середніх значень параметрів кольоровості від горизонтальної координати кадру з'являється провал або стрибок, причому для всіх параметрів  $R, G, B$  залежності є схожими (рисунок 3.3).

### 3.2 Результати моделювання середніх значень кольору по стовпцям матриці зображення

В дипломній роботі проаналізовані можливості виявлення і класифікації різних об'єктів на різних фонах на основі використання залежностей середніх

значень кольору по стовпцям матриці зображення від горизонтальної координати кадру. Всі об'єкти розміщувались в центрі кадру. Результати дослідження зведені в таблицю 3.1.

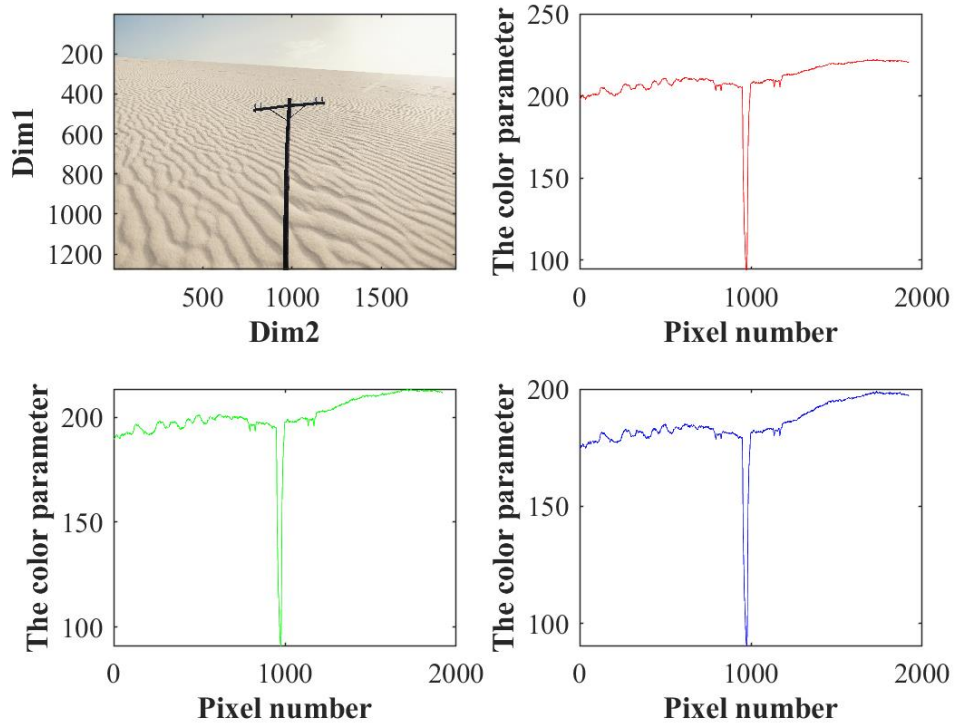

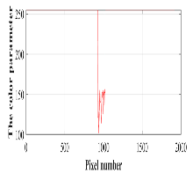

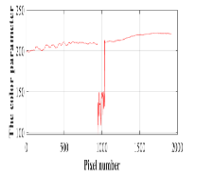

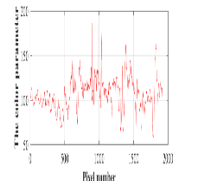

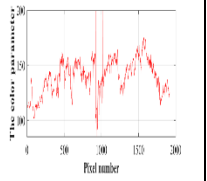

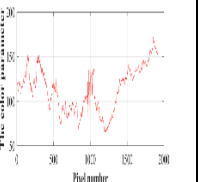
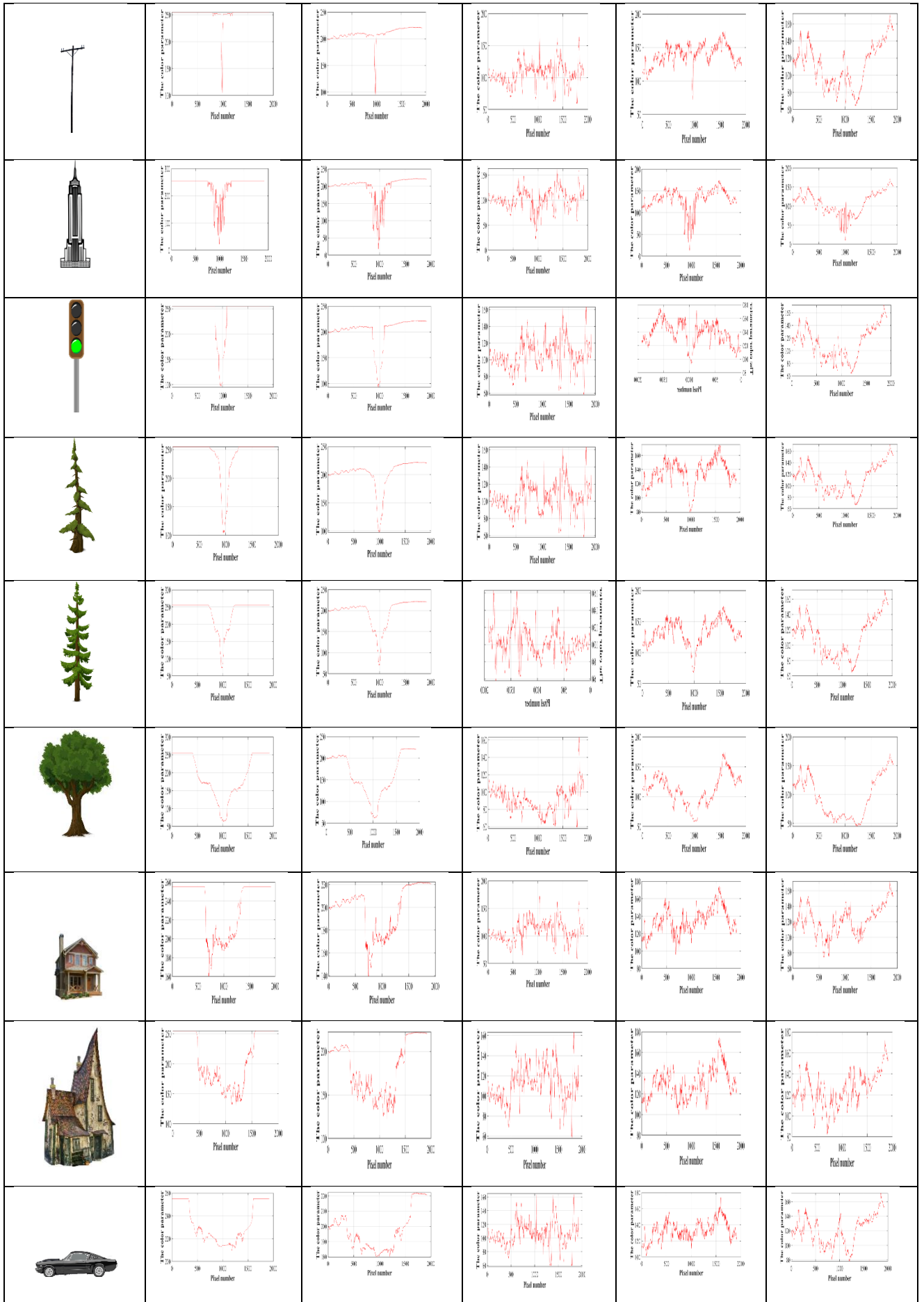


Рисунок 3.3 – Залежність середніх значень складових  $R, G, B$ , що позначені відповідно червоним, зеленим і синім кольором, від горизонтальної координати кадру

Таблиця 3.1 – Залежності середніх значень кольору по стовпцям матриці зображення від горизонтальної координати кадру

<p>Вигляд об'єкту</p> 	<p>Фон одноманітний білий</p> 	 	 	 	 
---	---	---	---	---	---



Величина провалу чи стрибка залежить від різниці параметрів  $R, G, B$  стовпа та фонові частини кадру, насиченості кадру різними природними та штучними об'єктами, освітленості, погоди тощо. Ні провал, ні стрибок в загальному випадку не співпадає повністю з формою стовпа, але по залежностям середніх значень параметрів кольоровості від горизонтальної координати кадру можна приблизно визначити ширину стовпа, місце його розташування на кадрі і апроксимувати цей розподіл прямокутником з наперед невідомим значенням в пікселях по вертикалі. Ширина прямокутника в пікселях дорівнює кількості стовпців пікселів, що попадають в провал чи стрибок, а висота прямокутника на кадрі не дорівнює реальній, бо на рисунках в таблиці по вертикалі одиницею вимірювання є середні значення червоного кольору.

Вертикально орієнтовані вузькі об'єкти типу стовпа, дерева, світлофора, башти можуть бути легко виявлені на одноманітному фоні, якщо їх колір відрізняється від кольору фону. Якщо фон містить вертикально розміщені елементи типу дерев в лісі, то виявлення таких об'єктів істотно ускладнюється. Для підвищення ймовірності виявлення таких об'єктів можуть використовуватись методи, що розроблені в [26].

Залежності середніх значень  $R, G, B$  від горизонтальної координати кадру для широких двовимірних об'єктів на одноманітному фоні близькі за формою з цими об'єктами. Ширина в пікселях є пропорційною реальній ширині об'єкту. Середні значення червоного кольору по осі ординат приблизно пропорційні розмірам об'єкту у вертикальній площині і можуть використовуватись при орієнтовних розрахунках розміру об'єкту. Якщо фон є складним (ліс, міські забудови, гори тощо), виявлення та класифікація об'єктів з допомогою описаного методу стає проблематичним. У цьому випадку доцільно використовувати методи визначення контурів об'єктів з допомогою градієнтних оцінок [27].

#### 4 ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВІДНЕСЕННЯ ОБ'ЄКТУ ДО КЛАСУ НАЗЕМНИХ ОРІЄНТИРІВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система (ІВС) - це система, яка використовує інтелектуальні алгоритми для обробки вимірювальної інформації. Обґрунтуємо основні складові цієї системи. До них можна віднести:

- первинні вимірювальні пристрої;
- систему обробки сигналів;
- інтелектуальні алгоритми вимірювання;
- систему прийняття рішення.

Загальний огляд структури інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) для дослідження точності вимірювання відстані між двома зображеннями в інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі автономного мобільного робота. Ця система допомагає роботам оцінювати своє місцезнаходження та визначати відстань до об'єктів навколо них.

1. Сенсори та зінації: Інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система робота може використовувати різноманітні сенсори і зінації для збору даних про оточення. Це може включати лазерні дальноміри, камери, датчики відстані, GPS і IMU (інерційні вимірювальні одиниці).

2. Збір та обробка даних: Сенсори збирають дані про оточення робота, такі як відстань до об'єктів та інші параметри. Ці дані передаються до центрального обчислювального блоку робота для подальшої обробки.

3. Визначення місцезнаходження (локалізація): Для визначення місцезнаходження робота в середовищі система використовує дані з сенсорів та алгоритми локалізації, такі як SLAM (одночасне локалізація та картографування). Це допомагає роботу знаходити свою позицію в просторі.

4. Оцінка відстані між двома зображеннями: Для вимірювання відстані між двома зображеннями, які можуть бути отримані в різний час, використовуються алгоритми комп'ютерного зору. Ці алгоритми можуть використовувати зображення, отримані з камер, і аналізувати їх, щоб визначити різницю в позиціях об'єктів на зображеннях.

5. Інтеграція з системою навігації: Результати вимірювання відстані можуть бути інтегровані з системою навігації робота для покращення його руху та навігації в просторі.

6. Керування роботом: На основі отриманих даних про місцезнаходження та відстань до об'єктів робот може приймати рішення щодо свого подальшого руху та дій.

7. Взаємодія з користувачем: Інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система може мати інтерфейс для взаємодії з оператором або користувачем, який може відправляти команди та отримувати інформацію про стан робота і результати вимірювань.

8. Запис та аналіз даних: Дані про вимірювання, місцезнаходження та інші параметри можуть бути записані для подальшого аналізу та вдосконалення системи.

Загальна структура ПВС для дослідження точності вимірювання відстані може бути складною та розгалуженою, оскільки вона включає в себе багато компонентів і алгоритмів для забезпечення точності та надійності роботи в різних умовах.

Обґрунтуємо необхідність та користь інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи (ПВС) для дослідження точності вимірювання відстані між двома зображеннями в інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі автономного мобільного робота:

1. Покращення навігації і руху робота: ПВС допомагає роботу точно визначати своє місцезнаходження та відстань до об'єктів навколо нього. Це є важливим для руху в невідомому середовищі та уникнення зіткнень.

2. Автономність та надійність: Інтелектуальна система дозволяє роботу функціонувати автономно, без постійного керування оператором. Вона може приймати рішення щодо свого руху на основі зібраних даних, що робить її більш надійною та ефективною.

3. Вимірювання відстані: Можливість точно вимірювати відстань до об'єктів є критично важливою для роботів у різних сферах, включаючи робототехніку, медицину, автономні автомобілі та інші. Це дозволяє роботам взаємодіяти з оточенням та виконувати завдання, які вимагають точного вимірювання відстані.

4. Дослідження та розвиток: ПВС може використовуватися для досліджень і вдосконалення алгоритмів навігації, комп'ютерного зору та інших технологій, які використовуються в робототехніці. Вона дозволяє вивчати та аналізувати результати вимірювань та ефективність роботи.

5. Застосування в різних галузях: Інтелектуальні інформаційно-вимірювальні системи мають широкий спектр застосувань, включаючи промислову автоматизацію, медицину, екологічний моніторинг та інше. Вони можуть бути корисними в будь-якій галузі, де потрібно вимірювати відстань та визначати місцезнаходження об'єктів.

Загалом, інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система є ключовим компонентом для підвищення автономності, надійності та ефективності роботів у сучасному світі. Вона дозволяє роботам здійснювати точну навігацію та взаємодіяти з оточенням у реальному часі, що робить їх більш корисними та універсальними для різних завдань і додаткових досліджень.

Розробка інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи (ПВС) для дослідження точності вимірювання відстані між двома зображеннями в інтелектуальній інформаційно-вимірювальній системі автономного мобільного робота - це завдання, яке вимагає інтердисциплінарного підходу та великої кількості ресурсів.

Нижче наведено загальний опис кроків та компонентів, які можна включити у такий проект:

#### Вибір апаратного забезпечення:

- Обрання сенсорів (лазерний дальномір, камери, GPS, IMU та інші), які будуть використовуватися для збору даних.
- Вибір потужних обчислювальних ресурсів, включаючи процесори та графічні обчислювальні одиниці (GPU) для обробки даних.
- Розробка алгоритмів вимірювання відстані:
- Використання комп'ютерного зору та обробки зображень для визначення відстані між двома зображеннями.
- Розробка алгоритмів для уникнення помилок вимірювання, таких як спотворення зображень або зіткнення з перешкодами.

#### Локалізація та картографування:

- Використання алгоритмів локалізації (наприклад, SLAM) для визначення місцезнаходження робота в просторі.
- Створення картографічних даних про середовище, в якому робот працює.

#### Інтеграція з роботом:

- Підключення системи до обчислювальної платформи робота та створення інтерфейсу для обміну даними між системою та роботом.
- Розробка програмного забезпечення для керування роботом на основі отриманих даних.

#### Взаємодія з оператором:

- Створення інтерфейсу для взаємодії з оператором, який може слідкувати за роботом та видаляти команди.

#### Тестування та налагодження:

- Проведення випробувань системи в різних умовах та середовищах для перевірки її працездатності та точності вимірювання.

- Виправлення помилок та налагодження алгоритмів.

#### Запис та аналіз даних:

- Створення системи для запису даних, що збираються під час роботи.



— Аналіз зібраних даних для вдосконалення алгоритмів та покращення продуктивності системи.

Підтримка та розвиток:

— Забезпечення можливості підтримки та подальшого розвитку системи, включаючи оновлення алгоритмів та апаратного забезпечення.

Це лише загальний огляд кроків та компонентів, які можуть бути включені у розробку інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи для дослідження точності вимірювання відстані. Пам'ятайте, що такий проект вимагає команди фахівців у галузях робототехніки, комп'ютерного зору, обробки сигналів та програмування.

#### 4.1 Первинні вимірювальні пристрої ПВС

Первинні вимірювальні пристрої – це пристрої, які перетворюють фізичні величини в електричні сигнали. В дипломній роботі первинні вимірювання виконує цифрова матриця відеокамери. Для отримання якісного зображення вона повинна мати високу роздільну здатність в широкому діапазоні умов навколишнього середовища. Це досягається вибором великої кількості пікселів. Фактично пікселі виконують функцію датчиків, які перетворюють світлову енергію в електричні сигнали. Найчастіше у відеокамерах використовуються CCD (ПЗЗ-матриці) і CMOS (КМОН матриці), які відрізняються технологією зчитування інформації з комірок. В ПЗЗ-матриці зчитування здійснюється послідовно, а у КМОН-матриці – з кожної комірки окремо. Для автономного робота доцільно використовувати КМОН-матриці, оскільки вони споживають менше енергії і мають меншу вартість. Ці параметри залежать також від розміру матриці, який позначається в частинах дюйму. Розмір матриці впливає на її вартість, вагу і, безумовно, на якість зображення. Чим більше розмір датчика (пікселя), тим більше світла попадає на нього, а, значить, більша енергія сигналу, тобто вище якість зображення. З іншого боку, зі збільшенням поперечного перерізу пікселя посилюється вплив зовнішніх шумів, що

знижують якість зображення. Отже, розмір матриці відеокамери потрібно вибирати з урахуванням зазначених факторів, вплив яких протилежний. Крім зовнішніх існують внутрішні шуми, що обумовлені дефектами датчика, струмами витоку, нагріванням матриці тощо. Струми витоку можна зменшити шляхом збільшення товщини шару ізоляції, що розділяє пікселі. Для ПВС не рівень шуму визначає якість зображення, а величина відношення сигнал-шум. Завдяки високому відношенню досягається природне відтворення кольору, що є дуже важливим для визначення меж можливих орієнтирів.

Для АМР вибір CMOS або CCD датчиків є важливим етапом. Використання CMOS -датчика забезпечує більш високу частоту кадрів та менше споживання енергії. Тут перетворення фотоелектричного сигналу в цифровий відбувається безпосередньо в самому датчику, а у CCD – найчастіше за його межами. В сучасних технологіях якість зображення приблизно однакова для обох типів датчиків. За критерієм світлочутливості та відношенням сигнал-шум поки що кращою є матриця на основі CCD-датчиків. Первинні вимірювальні пристрої зі CMOS-датчиками в основному є більш компактними, що важливо для бортової апаратури робота.

#### 4.2 Система обробки сигналів в ПВС

Обробки сигналів повинна здійснюватися з допомогою системи визначення відстані Хаусдорфа. Згідно з теоретичними положеннями, що розроблені в попередніх розділах, вона повинна включати такі блоки:

- блок попередньої фільтрації;
- аналого-цифровий перетворювач;
- блок визначення контурів зображень;
- блок розрахунку відстані Хаусдорфа між опорним та реальним зображенням;
- блок визначення порогової відстані Хаусдорфа.

Блок попередньої фільтрації служить для усунення швидких змінювань світлових характеристик навколишнього середовища, наприклад, спалахів, відблисків тощо, які спотворюють зображення можливих орієнтирів. При погіршенні освітленості в сутінках може суттєво зростати рівень шуму, що призводить до появи зернистості на зображеннях і зменшення контрастності їх меж, що збільшує похибки визначення контурів, а це в свою чергу є причиною похибок визначення відстані Хаусдорфа між зображеннями. Основна функція блоку попередньої фільтрації – збільшення відношення сигнал-шум та усунення хибних короткочасних зображень. Крім того, при проведенні обробки фотоелектричних сигналів може відбуватися ефект втрати кольору внаслідок того, що сама обробка здійснюється в сірому кольорі, який отримують з кольорового зображення. Завдання блоку – забезпечити мінімум втрат інформації про колір при трансформації кольорового зображення в сіре. Для цього обробка сигналів повинна проводитися в трьох каналах R, G, B, тобто каналах червоного, зеленого і блакитного кольорів. Такі дослідження виходять за межі теми дипломної роботи.

Аналого-цифровий перетворювач для завдання, що реалізується в дипломній роботі, необхідно будувати на сучасних технологіях. Такі перетворювачі можуть бути не тільки електронними, але і оптоелектронними, що застосовуються, наприклад, в Internet of Things тощо. Паралельні АЦП прямого перетворення забезпечують дуже високу швидкість, яка для умов застосування малошвидкісних АМР є достатньою. Отже, для навігації АМР вибір якісного АЦП, що не спотворює сигнали і має високу швидкість перетворення, не є проблемою.

Блок визначення контурів зображень є одним з найважливіших, оскільки від його якості роботи залежить точність визначення відстані Хаусдорфа. Контур будь-якого зображення є замкнутою лінією. В реальних умовах це може бути не тонка лінія, а лінія деякої товщини. Більш того, вона може втрачати замкнутість і перериватися в окремих місцях, що обумовлено слабкими можливостями блоку при вимірюванні сигналів при поганій освітленості.

Методи визначення контурів ґрунтуються на математичних моделях, що використовують статистичний аналіз фрагментів зображення. Фізичною основою методів є порівняння яскравості зображення в сусідніх областях, причому яскравість залежить від кольоровості. З математичної точки зору це зводиться до визначення градієнту зображення в точках кадру. Якщо градієнт перевищує наперед визначений поріг, то приймається рішення належності точки кадру до точки контуру деякого зображення. Сукупність таких точок формує контур або декілька контурів. Як правило, за величиною градієнта яскравості кожній точці кадру ставиться у відповідність “1” чи “0” в залежності від того, належить вона до контуру чи ні. Як наслідок, весь простір кадрів “оцифровується” і є придатним для обробки в комп’ютері, тобто на моніторі може з’явитися окремо контур об’єкта, що попадає в кадр. На цей час існує багато алгоритмів, що призначені для визначення контуру об’єктів [Березький О.М., Батько Ю.М. Алгоритм проходження контуром об’єкта з використанням зворотного ходу. – Штучний інтелект, 2009, №3, с. 516-522]. В кожному алгоритмі положення точок контуру визначається з деякими похибками. На кадрі окрім об’єкта, що може бути схожим з наземним орієнтиром, вводиться опорне зображення з наперед відомим контуром і його розмір автоматично регулюється таким чином, щоб він був близьким до контуру реального зображення.

Блок розрахунку відстані Хаусдорфа між опорним та реальним зображенням оцінює цю відстань, а статистичний метод, що описаний в третьому розділі, дозволяє визначити ще порогову відстань Хаусдорфа. Це свідчить про готовність бортової апаратури АМР до автоматичного прийняття рішення щодо належності вибраного об’єкта до наземного орієнтиру. В описаних процедурах існує багато проблем, які не завжди можуть бути відомі до проведення вимірювань. В зв’язку з цим набуває значущості завдання інтелектуального підходу до проведення вимірювань.

### 4.3 Інтелектуальні алгоритми вимірювання

В цьому підрозділі інтелектуальні підходи звужуються до інтелектуальних вимірювань. Основне завдання, що стоїть перед АМР, – довести, що виявлений об’єкт належить до наземного орієнтиру. Для цього треба проводити вимірювання контурів всіх об’єктів з прийнятною точністю. По-перше, наперед не завжди відомо, якими є допустимі похибки вимірювань, а, по-друге, в процесі самого вимірювання виникають питання щодо вибору методу чи пристрою вимірювання. При навігації АМР роботи пересуваються по місцевості, яка є неоднорідною за рельєфом, наявністю різних предметів, дерев, кущів, рослинності, колір яких змінюється під дією різних факторів. Один розроблений алгоритм може бути ефективним не для всіх ситуацій. Інтелектуалізація вимірювань дозволяє мінімізувати втрати точності в реальній обстановці. Термін “інтелектуальні” будемо вживати до пристроїв, які шляхом спеціального оброблення вимірювальної інформації набувають нових можливостей стосовно виконання навігаційних завдань автономним роботом. Так, вбудовані в первинний пристрій мікропроцесори на основі сучасних алгоритмів фільтрації дозволять провести попередню обробку інформації і забезпечити необхідні умови для подальшого вимірювання відстані Хаусдорфа, що буде свідчити про робастність системи обробки вимірювальної інформації. Первинна фільтрація сигналів може виконуватися різними методами, а наявність інтелектуальної системи дає можливість у багатьох випадках вибрати найкращий метод. Ще більше можливостей для вибору існує при формуванні правильного контуру зображення об’єкта – кандидату на наземний орієнтир. Серед багатьох існуючих методів інтелектуальна система вибирає той, що забезпечує найменші похибки вимірювання положення на кадрі точок контуру. Завдання значно спрощується, якщо є яка-небудь апріорна інформація про місцевість, на якій працює АМР.

Для підвищення оперативності виконання завдань навігації роботом перспективним є використання нейронних мереж, які попередньо треба навчити

встановлювати правильну відповідність між зображеннями реальних та опорних об'єктів, а для цього потрібно створювати базу знань зображень. Оптимізація цієї бази шляхом вибору мінімуму навчальних прикладів, які забезпечують прийнятну ймовірність класифікації виявлених об'єктів, буде свідчити про інтелектуальність пристрою обробки вимірювальної інформації. Інтелектуальні алгоритми є алгоритмами, що дозволяють ПВС отримувати нові знання з вимірювальної інформації щодо контурів зображень. Застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє виявляти різні аномалії у вимірювальних сигналах, а кожна аномалія є ознакою якої-небудь особливості, що може характеризувати клас об'єкта і належність його до орієнтиру. В окремих випадках може розглядатися інтернет речей для допомоги АМР, а також створюватися інтелектуальні інтерфейси для керівників АМР, якщо є можливість спільного використання інтелектуальної вимірювальної системи та інтелекту людини. В дипломній роботі такі питання не розглядаються. Інтелектуальні алгоритми є основою для формування рішень про належність об'єктів, що попали в кадр відеокамери, до класу вибраних орієнтирів.

#### 4.4 Система прийняття рішення

Система прийняття рішень – це система, яка приймає рішення на основі даних, що сформовані інтелектуальними алгоритмами. В дипломній роботі система прийняття рішення може використовуватися для контролю процесу визначення відстані Хаусдорфа, однак головне її завдання – класифікація зображень і віднесення їх до класу наземних орієнтирів з використанням методів логічного аналізу. Слід відзначити необхідність операції вибору опорних зображень зі своїми детермінованими контурами. Від цієї операції залежить якість вибору наземного орієнтиру. Детально процес прийняття рішення щодо класифікації зображень та їх числові характеристики описано в третьому розділі дипломної роботи.

Окрім приведених систем бортової апаратури робота, що служить для класифікації образів, тут не відзначена система збереження даних. З одного боку, вона повинна містити багато прикладів зображень, а з іншого боку, це знижує швидкодію апаратури і тому їх кількість повинна зменшуватися. Це накладає вимоги щодо оптимізації системи.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

На сьогодні дуже складна ситуація склалася у сфері охорони праці в частині атестації робочих місць за умовами праці, за результатами якої реалізуються права працівників на здорові й безпечні умови праці, пільгове пенсійне забезпечення, пільги й компенсації за роботу в несприятливих умовах.

Так, згідно із Законом України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 р. № 2694-ХІІ (*далі* – Закон № 2694) роботодавець зобов'язаний організувати атестацію робочих місць та за її підсумками вжити заходів щодо усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів.

Також забезпечити проведення медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах та роботах зі шкідливими чи небезпечними умовами праці. Крім того, згідно із Законом України «Про пенсійне забезпечення» від 5 листопада 1991 р. № 1788-ХІІ (*далі* – Закон № 1788) за результатами атестації робочих місць складаються списки виробництв, робіт, професій, посад та показників, зайнятість у яких дає право на пенсію за віком на пільгових умовах.

Відповідно до "Положення про порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці", однією з актуальних проблем сучасної промсанітарії є комплексний контроль умов праці, заходів попередження травматизму, професійної і загальної захворюваності, метрологічного забезпечення служб охорони праці, організаційних структур оцінки умов праці на робочих місцях [29].

Рішення проблеми автоматизації комплексного контролю санітарно-гігієнічного стану робочої зони та процесу обчислення оцінок вимірювань для лабораторій країни дозволить прискорити впровадження в практику, як основного чинника впливає на порівнянність результатів випробувань.

Атестація робочих місць, окрім іншого, передбачає гігієнічне дослідження факторів виробничого середовища, важкості й напруженості трудового процесу на робочому місці. Зазначені дослідження нерозривно пов'язані з вимірюваннями.



Санітарно-гігієнічні фактори визначаються на основі інструментальних вимірювань відповідних величин. Разом з тим проведення комплексного контролю ускладняються тим, що всі вимірювання, які пов'язані з атестацією робочих місць, повинні виконуватися в процесі роботи, тобто при проведенні виробничих процесів відповідно до технологічного регламенту, при справних і ефективно діючих засобах індивідуального та колективного захисту та засобами вимірювань, які зазначені у відповідних нормативних документах на методи вимірювання.

Діяльність, пов'язана з вимірюваннями, з контролем безпеки умов праці, належить до сфери законодавчо регульованої метрології.

Атестація випробувального обладнання проводиться з метою визначення нормованих характеристик випробувального обладнання, їх відповідності вимогам нормативних документів та встановлення придатності обладнання до експлуатації.

До нормованих точносних характеристик випробувального обладнання відносяться встановлені нормативними документами (в т. ч. методиками випробувань, методиками виконання вимірювань, експлуатаційною документацією) характеристики, що визначають можливості обладнання відтворювати і підтримувати режими і умови випробувань в заданих діапазонах, з необхідною точністю і стабільністю, протягом встановленого терміну.

Атестації підлягає випробувальне обладнання, що відтворює умови випробувань (нормовані зовнішні впливаючі фактори та (або) навантаження).

Атестацію випробувального обладнання зазвичай проводять:

- у процесі його експлуатації;
- при введенні в експлуатацію випробувального обладнання після транспортування і тривалого зберігання;
- після ремонту, модернізації, капітальної переробки фундаменту, встановленого стаціонарно, якщо перераховані операції можуть призвести до зміни нормованих точносних характеристик;

— при погіршенні якості продукції, що випускається.

Позитивні результати атестації випробувального обладнання оформлюються атестатом.

Повірка засобів вимірювальної техніки - сукупність операцій, що включає перевірку та маркування та/або видачу документа про повірку ЗВТ, які встановлюють і підтверджують, що зазначений засіб відповідає встановленим вимогам.

Повірка здійснюється у відповідності до вимог Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів (затверджений наказом Мінекономрозвитку України № 193 від 08.02.2016р.)

Періодичній повірці підлягають законодавчо регульовані ЗВТ, визначені в Переліку категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці (затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 374 від 04 червня 2015 року), що застосовуються в сфері законодавчо регульованої метрології, тобто в наступних видах діяльності:

- забезпечення захисту життя та охорони здоров'я громадян;
- контроль якості та безпечності харчових продуктів і лікарських засобів;
- контроль стану навколишнього природного середовища;
- контроль безпеки умов праці;
- контроль безпеки дорожнього руху та технічного стану транспортних засобів;
- топографо-геодезичні, картографічні та гідрометеорологічні роботи, роботи із землеустрою;
- торговельно-комерційні операції та розрахунки між покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому числі під час надання транспортних, побутових, комунальних, телекомунікаційних послуг, послуг поштового зв'язку, постачання та/або

споживання енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо);

— обчислення сум податків і зборів, податковий та митний контроль;

— роботи, пов'язані з визначенням параметрів будівель, споруд і території забудови;

— роботи із забезпечення технічного захисту інформації згідно із законодавством;

— роботи з використання апаратури глобальних супутникових навігаційних систем;

— роботи, що виконуються за дорученням органів досудового розслідування, органів прокуратури та судів;

— реєстрація національних і міжнародних спортивних рекордів.

Види повірки:

— періодична повірка засобів вимірювальної техніки – повірка, що проводиться протягом періоду експлуатації засобів вимірювальної техніки через встановлений проміжок часу (міжповірочний інтервал);

— експертна повірка засобів вимірювальної техніки – повірка, яка проводиться у разі виникнення спірних питань щодо метрологічних характеристик, придатності до застосування і правильності експлуатації засобів вимірювальної техніки;

— інспекційна повірка засобів вимірювальної техніки – повірка засобів вимірювальної техніки, яка проводиться під час здійснення метрологічного нагляду;

— позачергова повірка засобів вимірювальної техніки – повірка засобів вимірювальної техніки, що проводиться у таких випадках:

- за потреби заявника пересвідчитися у придатності засобів вимірювальної техніки до застосування;
- у разі пошкодження відбитка повірочного тавра, а якщо таке тавро не передбачено - у разі втрати свідоцтва про повірку.

Персонал, відповідальний за виконання робіт з повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, повинен [30]:

— мати документально підтверджену технічну і професійну підготовку щодо повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, відповідно до заявленої сфери уповноваження, освітньо-кваліфікаційний рівень молодшого бакалавра, бакалавра, магістра за інженерно-технічними спеціальностями;

— володіти знаннями, необхідними для організації та проведення повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, і вміннями з підготовки свідоцтв про повірку законодавчо регульованих ЗВТ та довідок про непридатність законодавчо регульованих ЗВТ, протоколів і звітів, які демонструють виконання робіт з повірки законодавчо регульованих ЗВТ;

— дотримуватися в порядку, визначеному законодавством, вимог конфіденційності та зберігати комерційну таємницю щодо всієї інформації, отриманої під час виконання робіт з повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації;

— забезпечувати збереження законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, поданих на повірку;

Персонал, відповідальний за виконання робіт з повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, повинен знати:

— закони та інші нормативно-правові акти України у сфері метрології та метрологічної діяльності;

— нормативні документи у сфері метрології та метрологічної діяльності;

— основи метрології, основні принципи та методи проведення вимірювань і одержання їх результатів;

— методики повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, стосовно категорій законодавчо регульованих ЗВТ, зазначених у заявленій сфері уповноваження;

— принцип дії та конструкцію робочих еталонів, які використовуються під час проведення повірки, та законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, які перевіряються;

Персонал, відповідальний за виконання робіт з повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, повинен уміти:

— виконувати операції повірки згідно з методиками повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації;

— оцінювати границі похибки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, які перевіряються, спричинені зміною умов повірки;

— виконувати роботи, необхідні для забезпечення нормального функціонування робочих еталонів, допоміжних ЗВТ і допоміжного обладнання, що застосовуються під час повірки;

— проводити оцінку достатності співвідношення між розширеною невизначеністю робочих еталонів, що застосовуються під час повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, та встановленими границями допустимої похибки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, які перевіряються;

— правильно оформлювати результати повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації;

Не менш як половина штатного персоналу заявника, відповідального за виконання робіт з повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, повинна мати досвід роботи у сфері метрології та метрологічної діяльності не менше ніж один рік;

Персонал, відповідальний за виконання робіт з повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, повинен проходити підвищення кваліфікації щодо проведення повірки законодавчо регульованих ЗВТ, що перебувають в експлуатації, повірку яких він проводить, не рідше одного разу на п'ять років.

Одним з основних шляхів поліпшення умов праці на промислових підприємствах є впровадження автоматизованих систем управління

технологічними процесами. Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) промислових підприємств є обов'язковою умовою їх функціонування, нормальної експлуатації, запобігання аваріям та забезпечення високої ефективності в цих ринкових умовах.

Сучасні АСУТП, що розробляються із застосуванням програмованих мікропроцесорних контролерів, крім забезпечення всіх необхідних функцій, дозволяють мати широкий вибір додаткових можливостей, забезпечують високий рівень надійності, мають високорозвинену гнучку структуру і високоефективний людино-машинний інтерфейс. Оснащення підприємства такої АСУТП може бути виконане двома шляхами: 1-й – проектування та встановлення АСУТП виконується безпосередньо під час будівництва нового підприємства; 2-й – реконструкція існуючих АСУТП із заміною основного обладнання – вимірювальних пристроїв, виконавчих механізмів та логічної частини АСУТП.

Єдиним шляхом забезпечення сучасних вимог до виробництва, енергозабезпечення та енергозбереження є впровадження сучасних АСУТП на мікропроцесорній базі з використанням високоточних та надійних датчиків та виконавчих механізмів.

АСУТП розробляються як розподілені інформаційно-керуючі людино-машинні системи, розраховані на тривале функціонування в реальному масштабі часу та призначені для автоматизованого управління будь-яким технологічним обладнанням, яке є об'єктом управління АСУТП.

Основними перевагами при впровадженні АСУТП є:

- підвищення надійності роботи обладнання; зниження ризику важких аварій;
- забезпечення автоматизованого ефективного управління технологічними процесами в нормальних, перехідних та передаварійних режимах роботи, вироблення продукції заданої якості та кількості;
- захист обладнання та персоналу при загрозі аварії;
- покращення умов праці експлуатаційного персоналу;

— своєчасне подання оперативному персоналу достовірної інформації про перебіг технологічного процесу, стан обладнання та технологічних засобів управління;

— забезпечення персоналу ретроспективною інформацією у повному обсязі для аналізу, оптимізації та планування роботи обладнання, а також його ремонту.

При створенні АСУТП враховуються критерії ефективності АСУТП, які є кількісним виразом наступних показників:

— витрат на ремонт обладнання, що визначаються надійністю обладнання та ефективністю планування його ремонтів;

— витрат на технічні засоби АСУТП, що визначаються темпами введення та освоєння АСУТП;

— зниження кількості обладнання АСУТП та кабелю.

Високі показники функціонування АСУТП досягаються завдяки застосуванню найсучасніших програмних засобів, що забезпечують:

— реалізацію особливо складних алгоритмів управління та регулювання;

— оптимальний зв'язок (інтерфейс) «людина-машина»;

— розширені інформаційні функції АСУТП;

— адекватну діагностику технологічного обладнання та засобів АСУТП;

— високу живучість та надійність системи при відмові її окремих елементів;

— спрощення керування технологічним обладнанням.

Відмінними рисами цих систем є:

— застосування досвіду оригінальних розробок та досліджень у частині створення перешкодозахищених інформаційно-вимірювальних каналів АСУТП об'єктів, що гарантують відсутність збоїв у роботі АСУТП через електромагнітні перешкоди;

— обов'язковий економічний аналіз шляхів оптимізації проектних рішень при створенні АСУ ТП та зниження витрат Замовника на постачання електрообладнання та матеріалів;

— досвід реконструкції релейно-контактних систем управління (у т. ч. – виконаних на вітчизняних апаратних засобах) із заміною їх на мікропроцесорні з мінімальними витратами та максимальною ефективністю (включаючи аналіз використання існуючих кабельних зв'язків);

— обов'язкове впровадження енергозберігаючих технологій шляхом широкого застосування:

- пристроїв плавного пуску та частотного регулювання при постачанні нових електроприводів та для реконструкції існуючих напругою 0,4 кВ та 6 (10) кВ ;
- пристроїв компенсації реактивної потужності ;

— Остаточне рішення щодо конфігурації АСУТП приймається нами лише після ретельного безпосереднього обстеження, вивчення та докладного аналізу особливостей об'єкта - для конкретних умов роботи нами приймається найбільш оптимальне рішення.

— комплексне проектування, постачання обладнання та введення в експлуатацію з одних рук.

Основна відмінність АСУТП – економічно прорахована комбінація застосування високоякісного обладнання зарубіжних виробників у поєднанні з перевіреним вітчизняним обладнанням, що забезпечує максимальну оптимізацію витрат на систему автоматизації.

В результаті впровадження АСУТП досягаються :

- стійка безаварійна робота технологічного устаткування;
- підвищення рівня експлуатації та надійності систем управління;
- суттєве покращення всіх економічних показників роботи об'єкта;
- збільшення терміну служби обладнання та зменшення трудових та фінансових витрат на його ремонт;



- суттєве підвищення показників енергозбереження;
- забезпечення вимог вітчизняних та міжнародних стандартів до виробництва.

Структура АСУТП об'єкта представляє трирівневу функціонально і територіально розподілену багатомашинну систему і включає:

- загальнооб'єктний рівень контролю, що реалізує функції управління загальнооб'єктними системами та відображення інформації (мікропроцесорні засоби);
- агрегатний верхній рівень, що реалізує функції оперативного контролю стану та дистанційного керування технологічним обладнанням, а також реєстрація, протоколювання та архівування інформації (мікропроцесорні засоби);
- агрегатний нижній рівень, що реалізує функції збору та попередньої обробки інформації, автоматичного управління виконавчими органами (мікропроцесорні засоби, первинні датчики та виконавчі механізми та кабелі між ними).

Усі рівні об'єднані локальною обчислювальною мережею (кручена пара, оптоволокно). Нижній рівень управління АСУТП об'єкта становлять локальні системи автоматизованого управління (ЛСУ), побудовані з урахуванням однієї (кілька) шаф мікропроцесорних контролерів і призначені реалізації функцій контролю та управління устаткуванням межах виділених технологічних функціональних зон.

Технічними засобами рівнів є:

- для загальнооб'єктного рівня та агрегатного верхнього рівня – загальнопромислові персональні комп'ютери, мережеві концентратори та засоби відображення колективного користування (супер-монітори чи проекційні екрани);
- для нижнього агрегатного рівня:

— ЛСУ – високонадійні та гнучко-конфігуровані промислові контролери модульного виконання, інтегровані з відповідними модулями вводу/виводу;

— датчики та виконавчі механізми – вимірювальні перетворювачі тиску (різниці тисків), температури, хімічного контролю та газоаналізу, спеціалізовані датчики (контроль наявності полум'я, переміщення, вологості тощо), запірні та регулюючі арматура, приводи агрегатів (у тому числі з пристроями плавного пуску та частотного регулювання).

Таким чином, основними шляхами поліпшення умов праці та зниження ризику важких аварій на промислових підприємствах та підвищення надійності інформаційно-вимірювальних систем є удосконалення проведення атестації робочих місць за умовами праці, атестації випробувального обладнання, підвищення вимог до персоналу, відповідального за виконання робіт з перевірки законодавчо регульованих ЗВТ та впровадження нових технологій автоматизованих систем управління технологічними процесами.

## ВИСНОВКИ

1. Розглянуто та проведено аналіз об'єктів, які слугують орієнтирами для роботів; основними було обрано елементи навколишнього середовища або різноманітні орієнтаційні мітки. Було виділено найпростіші та найскладніші методи орієнтації роботів у просторі, які розглядались вченими. Усі методи мають свої переваги і недоліки, і працюють краще на різних типах зображень.

2. Наведено графіки та таблиці для демонстрації впливу положення однакових опорного і реального зображень на відстань Хаусдорфа для визначення найменшої відстані Хаусдорфа. З приведених таблиць випливає, що найменша відстань Хаусдорфа досягається, коли опорне зображення розміщено приблизно посередині реального. Якщо реальне зображення має великі розміри (сукупність будівель), то відстань Хаусдорфа досягає тисяч. Висока башта, хоча і має невелику схожість зі стовпом, але відстань Хаусдорфа є великою, що не дає можливості віднести її до класу стовпів. Більша схожість стовпа очікується з деревом, яке має вузьку крону.

3. Проаналізовані можливості виявлення і класифікації різних об'єктів на різних фонах на основі використання залежностей середніх значень кольору по стовпцям матриці зображення від горизонтальної координати кадру. Усі об'єкти розміщено в центрі кадру.

4. Розроблена структурна схема інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи для підвищення автономності, надійності та ефективності навігації автономних роботів. Вона дозволяє роботам здійснювати точну навігацію та взаємодіяти з оточенням у реальному часі, що робить їх більш корисними та універсальними для різних завдань і додаткових досліджень.

5. Обґрунтовані основні шляхи поліпшення умов праці та зниження ризику аварій на промислових підприємствах та підвищення надійності інформаційно-вимірювальних систем. Це досягається шляхом удосконалення проведення атестації робочих місць за умовами праці, атестації

випробувального обладнання, підвищення вимог до персоналу, відповідального за виконання робіт з повірки законодавчо регульованих засобів вимірювання та впровадження нових технологій автоматизованих систем управління технологічними процесами.

Всі етапи дипломної роботи магістра виконані згідно з завданням керівника.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Nakju, Won Pil, Sang Ik. Method of mapping and navigation mobile robot by artificial landmark and local coordinate. – Patent, WO 2007/066872 A1.
2. M. Eng. Chanin Joochim. Autonomous navigation and mapping of mobile robots based on 2d/3d cameras combination. – Dissertation of Doktors der Ingenieurwissenschaften, Vom Fachbereich Elektrotechnik und Informatik der Universität Siegen, 2011. – <https://d-nb.info/1017706239/34>
3. S.M. Mohidul Islam, Farhana Tazmim Pink. Colour, Texture, and Shape Features based Object Recognition Using Distance Measures. – International Journal of Engineering and Manufacturing, 2021, 4, 42-50. DOI: 10.5815/ijem.2021.04.05.
4. Jing Qian, Qiming Zhoua, Quan Houa. Comparison of pixel-based and object-oriented classification methods for extracting built-up areas in aridzone. – ISPRS Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs, 2007, pp. 163-171.
5. Lowe, David. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision, pp. 1-28. 60. 91 –. 10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94.
6. Thomas Blaschke, Geoffrey J. Hay, Maggi Kelly, Stefan Lang, Peter Hofmann, Elisabeth Addink, Raul Queiroz Feitosa, Freek van der Meer, Harald van der Werff, Frieke van Coillie, Dirk Tiede. Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 87, January 2014, Pages 180-191.
7. Schmidt, Filipp & Fleming, Roland. (2018). Identifying shape transformations from photographs of real objects. PLoS ONE, pp. 1-20. 13. 10.1371/journal.pone.0202115.
8. Kasaei, S.H., Ghorbani, M., Schilperoort, J. et al. Investigating the importance of shape features, color constancy, color spaces, and similarity measures in open-ended 3D object recognition. Intel Serv Robotics, 14, 329-344 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11370-021-00349-8>.

9. Shiqi Huang, Ying Lu, Wenqing Wang & Ke Sun. Multi-scale guided feature extraction and classification algorithm for hyperspectral images. – *Scientific Report*, 11, 18396 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97636-2>
10. Youkyung Han, Aisha Javed, Sejung Jung and Sicong Liu. Object-Based Change Detection of Very High Resolution Images by Fusing Pixel-Based Change Detection Results Using Weighted Dempster–Shafer Theory. – *Remote Sensing*, 2020, 12(6), 983; <https://doi.org/10.3390/rs12060983>
11. Till Sieberth, Rene Wackrow, Jim H. Chandler. Automatic detection of blurred images in UAV image sets. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 122, December 2016, Pages 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.09.010>.
12. Shorten, C., Khoshgoftaar, T.M. A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. – *Journal of Big Data* 6, 60 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0197-0>
13. <http://www.softintegration.com/products/thirdparty/opencv/>
14. Helmut Alt, Ludmila Scharf. Computing the Hausdorff distance between curved objects. – *International Journal of Computational Geometry & Applications*, 2008, Vol. 18, No. 04, pp. 307-320.
15. Daniel P. Huttenlocher, Gregory A. Klanderman, and William J. Rucklidge. Comparing Image Using the Hausdorff Distance. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, vol. 15, no. 9, pp. 850-863.
16. XiaoHong Li, YiZhen Jia, Feng Wang, Yuan Chen. Image Matching Algorithm Based on an Improved Hausdorff Distance. – *2nd International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation (3CA 2013)*, pp. 244-247. DOI:10.2991/3ca-13.2013.61
17. David G. Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, Volume 60, Issue 201, November 2004, pp. 91-110. <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>

18. Shlepnev, Yuriy. (2021). Evaluation of S-Parameters Similarity with Modified Hausdorff Distance. – arXiv:2105.10057
19. Sonia L. Rueda, Juana Sendra, J. Rafael Sendra. Bounding and Estimating the Hausdorff distance between real space algebraic curves. – Computer Aided Geometric Design, 2014, vol 3, pp. 182-198; DOI 10.1016/j.cagd.2014.02.005
20. Chyuan-Huei Thomas Yang, Shang-Hong Lai and Long-Wen Chang, "Reliable image matching via modified Hausdorff distance with normalized gradient consistency measure," ITRE 2005. 3rd International Conference on Information Technology: Research and Education, 2005., Hsinchu, Taiwan, 2005, pp. 158-161, doi: 10.1109/ITRE.2005.1503090
21. Orhun Utku Aydin, Abdel Aziz Taha, Adam Hilbert, Ahmed A. Khalil, Ivana Galinovic, Jochen B. Fiebach, Dietmar Frey and Vince Istvan Madai. On the usage of average Hausdorff distance for segmentation performance assessment: hidden error when used for ranking. – European Radiology Experimental, 2021, <https://doi.org/10.1186/s41747-020-00200-2>
22. Haddad, Shadi & Halder, Abhishek. (2022). Hausdorff Distance between Norm Balls and their Linear Maps. – arXiv:2206.12012v5 [math.OC] 15 Jul 2022.
23. Mehboob Ali, Zahid Hussain and Miin-Shen Yang. Hausdorff Distance and Similarity Measures for Single-Valued Neutrosophic Sets with Application in Multi-Criteria Decision Making. – Electronics 2022, 12, 201. <https://doi.org/10.3390/electronics12010201>
24. Daniel Kraft. Computing the Hausdorff Distance of Two Sets from Their Signed Distance Functions. – arXiv:1812.06740v1 [math.MG] 17 Dec 2018.
25. Merrill I. Skolnik. Introduction to radar systems. Second edition. – McGraw-Hill, Inc., 1980. – 590 p.
26. O. Poliarus, Y. Poliakov, A. Lebedynskyi. Detection of landmarks by autonomous mobile robots using camera-based sensors in outdoor environments. – IEEE Sensors Journal, 2021, vol. 21, issue 10, pp. 11443-11450, doi: 10.1109/JSEN.2020.3010883.

28. Theo Gevers, Joost van de Weijer, Harro Stokman. Color feature detection. Rastislav Lukac and Konstantinos N. Plataniotis. Color image processing: methods and applications, 9, CRC press, pp.203-226, 2006, 978-0-8493-9774-5. ff10.1201/9781420009781ff. ffinria-00548685

29. Положення про порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці. 2015. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/442-92-%D0%BF>;

30. Деякі питання щодо видачі свідоцтва про уповноваження на проведення повірки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації та застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології. Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України Наказ 30.06.2020 м. Київ N 1242. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0862-20#Text>

31. Achermann, I., & Bunke, H. (2000). Classifying range images of human faces with Hausdorff distance. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(9), 980-993.

32. Robust contour detection in noisy images using multi-scale analysis (2014) Wang, D., Pan, H., Xu, W., Zhang, Y., & Zhou, T. (2014). Robust contour detection in noisy images using multi-scale analysis. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(12), 5131-5144.

33. A novel approach for robust contour detection in noisy images (2015) Zhang, L., Xu, W., Zhou, T., Jiao, L., & Shen, L. (2015). A novel approach for robust contour detection in noisy images. *Biomedical Signal Processing and Control*, 20, 1-10.

34. Contour detection in images with shadows using adaptive thresholding (2016) Guo, R., Xu, W., Zhang, Y., Shen, L., & Zhou, T. (2016). Contour detection in images with shadows using adaptive thresholding. *IEEE Transactions on Image Processing*, 25(11), 5254-5266.

35. A novel approach for contour detection in images with illumination variations (2017) Zhang, F., Xu, W., Zhou, T., Jiao, L., & Shen, L. (2017). A novel



approach for contour detection in images with illumination variations. *Optics Express*, 25(18), 23953-23966.

36. Robust contour detection in images with occlusions using deep learning (2018) Xu, W., Li, Z., Zhang, F., Zhang, Y., Shen, L., & Zhou, T. (2018). Robust contour detection in images with occlusions using deep learning. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(1), 350-364.

37. A survey on contour detection methods for video surveillance (2020) Wang, F., Liu, F., Wang, F., Wang, R., & Li, F. (2020). A survey on contour detection methods for video surveillance. *arXiv preprint arXiv:2211.10038*

38. "A robust image classification method based on Hausdorff distance" (2002)

39. "Image classification using Hausdorff distance and support vector machines" (2004)

40. "A novel image classification method using Hausdorff distance and local binary patterns" (2006)

41. "Image classification using Hausdorff distance and deep learning" (2018)

ДОДАТОК А  
ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Факультет механічний  
Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ  
Магістра

# ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ МІЖ ДВОМА ЗОБРАЖЕННЯМИ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, доц.



О. І. Богатов

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доц.



І. В. Грайворонська

Керівник, д-р. техн. наук, проф.



О. В. Полярус

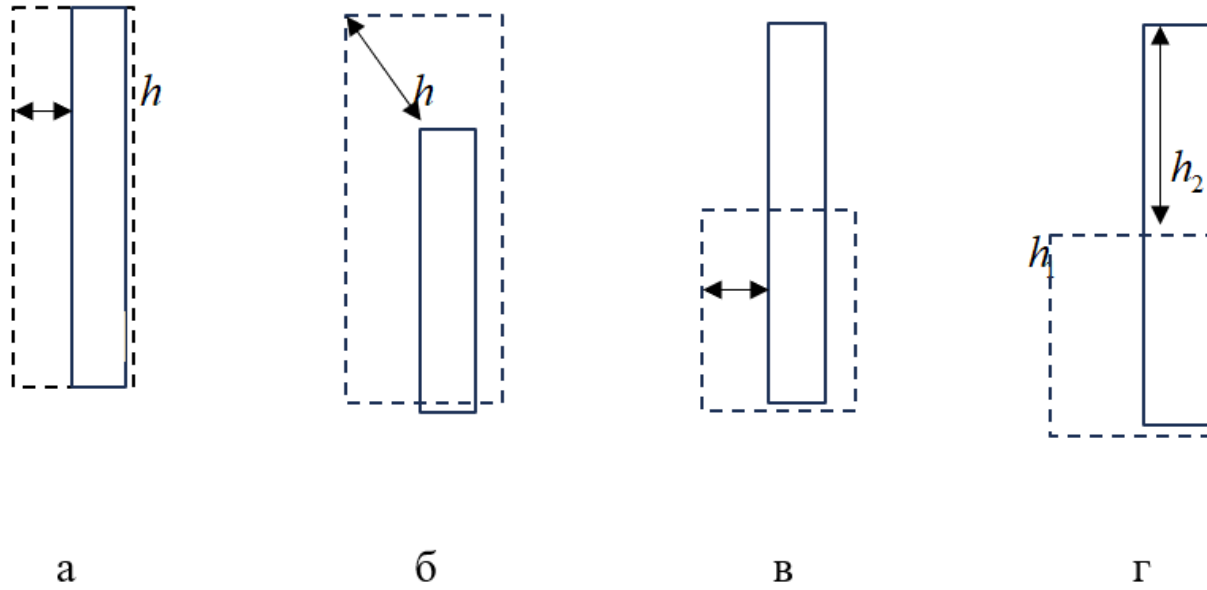
Студентка гр. ММ-61-22



Д. П. Гмиря

м. Харків - 2023


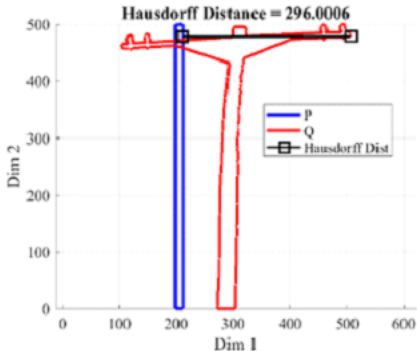
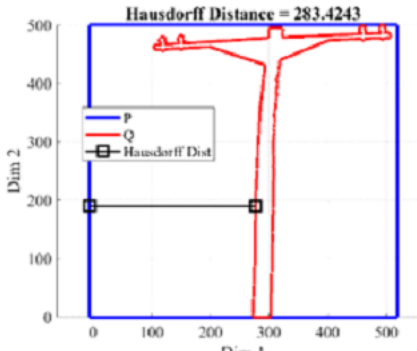
Рисунок 1.1 - Демонстрація відстані Хаусдорфа




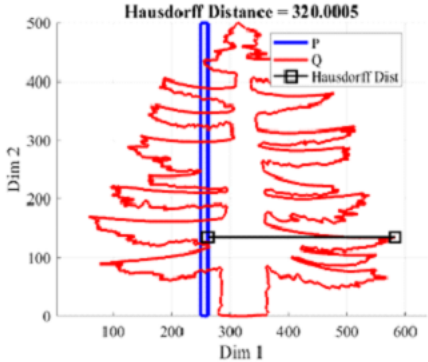
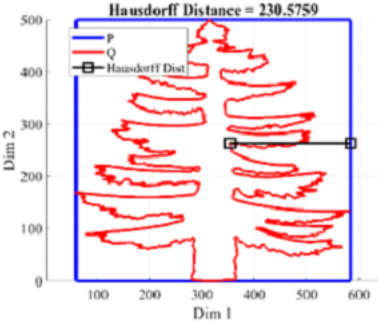
Таблиця 1 - Демонстрація впливу положення однакових опорного і реального зображень на відстань Хаусдорфа

Контури ідеальних опорного (синій колір) та аналізованого (червоний колір) зображень	
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами опорного і аналізованого зображень у вигляді стовпа</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами опорного і аналізованого зображень у вигляді прямокутника</p>


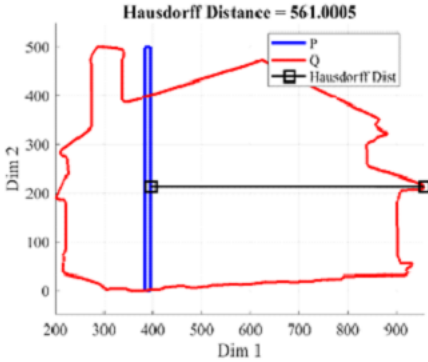
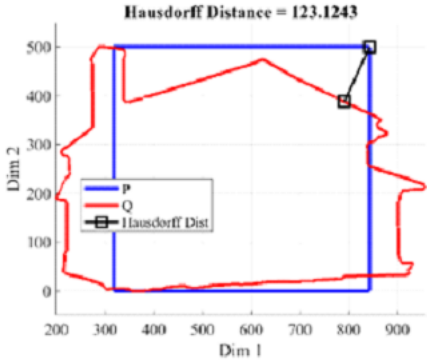
Таблиця 2. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального зображення стовпа на відстань Хаусдорфа

	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
	
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення стовпа</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення стовпа</p>

Таблиця 7. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального зображення дерева з вузькою кроною і рівним стовбуром на відстань Хаусдорфа

	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
	
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення дерева</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення дерева</p>

Таблиця 8. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального у вигляді будівлі на відстань Хаусдорфа

	
<p>Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)</p>	
 <p>Hausdorff Distance = 561.0005</p>	 <p>Hausdorff Distance = 123.1243</p>
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення будівлі</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення будівлі</p>



Таблиця 10. – Демонстрація впливу положення опорного зображення у вигляді стовпа та прямокутника і реального у вигляді автомобіля на відстань Хаусдорфа

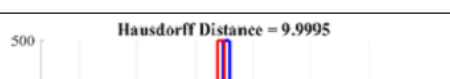
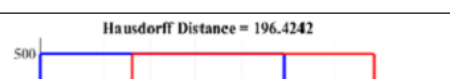

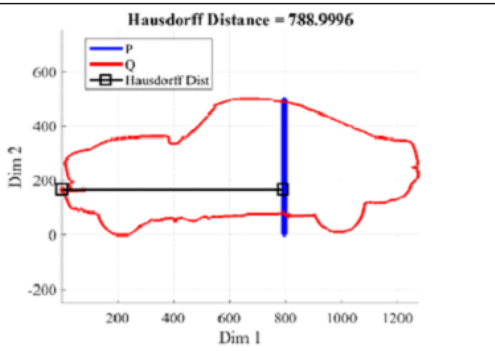
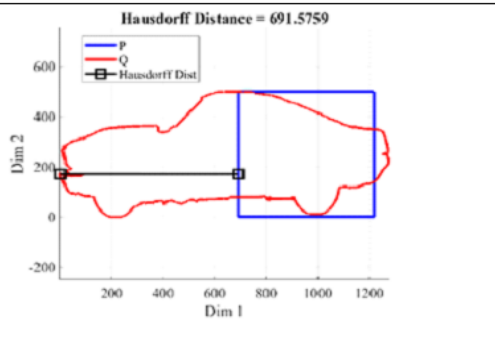
Контури ідеальних опорного (синій колір) та аналізованого (червоний колір) зображень	
 <p>Hausdorff Distance = 9.9995</p>	 <p>Hausdorff Distance = 196.4242</p>
	
Контури ідеального опорного зображення (синій колір) та реального зображення (червоний колір)	
 <p>Hausdorff Distance = 788.9996</p>	 <p>Hausdorff Distance = 691.5759</p>
<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді стовпа і реального зображення автомобіля</p>	<p>Залежність ВХ від горизонтального зсуву між контурами ідеального опорного зображення у вигляді прямокутника і реального зображення автомобіля</p>

Рисунок 3.1 – Приклад щільності ймовірностей відстані Хаусдорфа

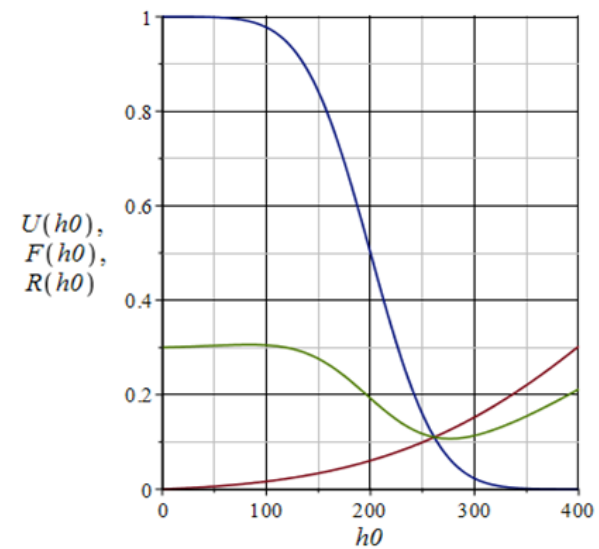
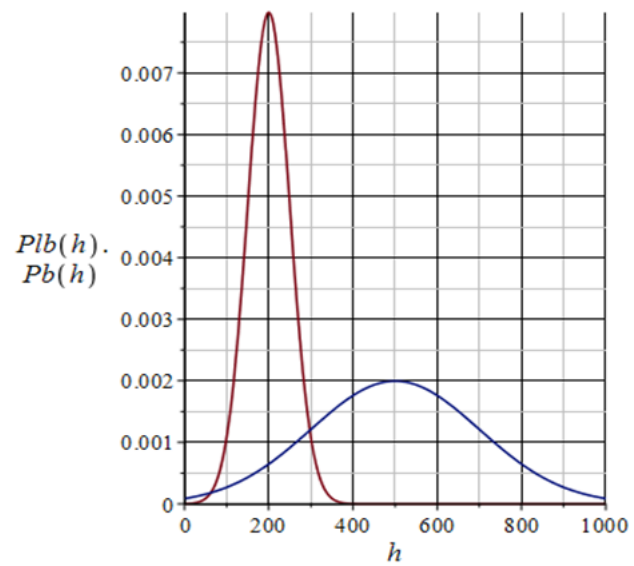
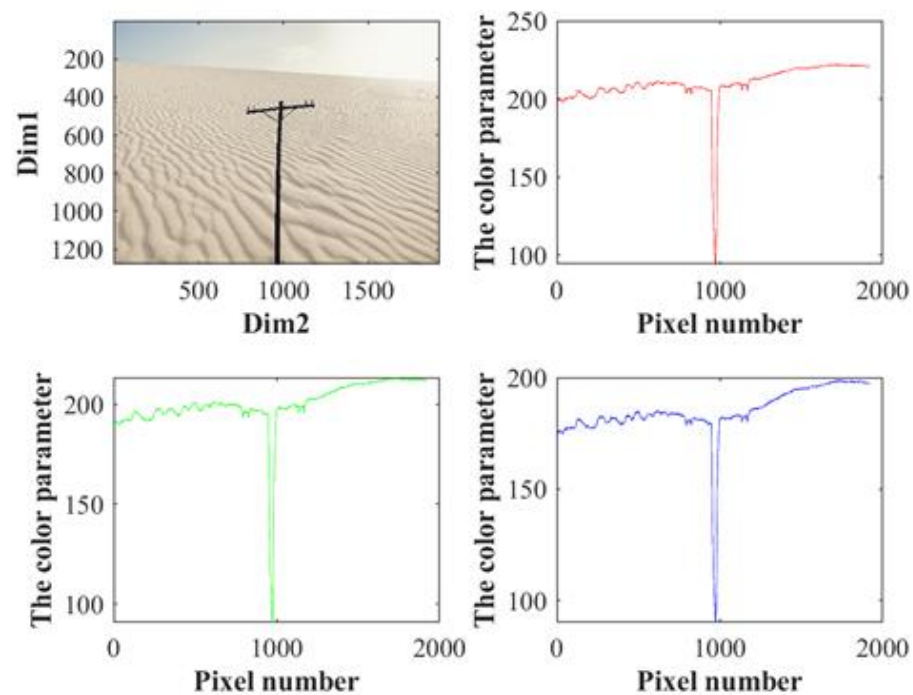


Рисунок 3.2 – Залежність ймовірності пропуску орієнтиру

Рисунок 3.3 – Залежність середніх значень складових , що позначені відповідно червоним, зеленим і синім кольором, від горизонтальної координати кадру



Таблиця 3.1. Залежності середніх значень кольору по стовпцям матриці зображення від горизонтальної координати кадру

Вигляд об'єкту	Фон одноманітний білий	