

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(позначення документа)

Система машинного зору для класифікації навантаження мосту шляхом оцінки кореляції зі зміщенням координат при його деформації

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи СТМм-21-1
Лисиченко В.О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Сергієнко О.Ю.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Карташов В.М.
(прізвище, ініціали)

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма "Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа"

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Лисиченко Владиславу Олексієвичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Система машинного зору для класифікації навантаження мосту шляхом оцінки кореляції зі зміщенням координат при його деформації

затверджена наказом по університету від " 08 " 11 2021 р. № 1675

2. Термін подання студентом роботи 08.12.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

1. Вибір контрольно-вимірювальної апаратури датчиків для збору даних при навантаженні мосту

2. Вибір і реалізація інтелектуального алгоритму та/або обробки зображень для автоматичної класифікації даних від датчика навантаження мосту

3. Реалізація системи технічного бачення на платформі, що включає отримання даних про навантаження з мосту, його класифікацію, а також етап реагування для співвіднесення даних про навантаження мосту з координатами переміщення мосту

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Вступ

1. Огляд теоретичних основ перевірки технічного стану мостів та аналіз пов'язаних із цим робіт

2. Аналіз проблеми та постановка задачі системи машинного зору для класифікації навантаження мосту шляхом оцінки кореляції зі зміщенням координат при його деформації

3. Огляд існуючих методів перевірки технічного стану мостів

4. Методологія та результати створення системи машинного зору для класифікації навантаження мосту шляхом оцінки кореляції зі зміщенням координат при його деформації

Висновки

Перелік посилань

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій:

1. Цілі та задачі кваліфікаційної роботи
2. Класифікація доріг за їх геометричними характеристиками
3. Огляд теоретичних основ перевірки технічного стану мостів та аналіз пов'язаних із цим робіт
4. Аналіз проблеми та постановка задачі системи машинного зору для класифікації навантаження мосту шляхом оцінки кореляції зі зміщенням координат при його деформації
5. Принцип роботи апертури оптико-електронного сканування
6. Принцип апертури оптоелектронного сканування
7. Оптична система сканування для SHM на основі когерентного світлового випромінювання
8. Розрахунок координат (x, y, z)
9. Оптична система сканування для SHM на основі некогерентного світлового випромінювання
10. Методологія та результати створення системи машинного зору для класифікації навантаження мосту шляхом оцінки кореляції зі зміщенням координат при його деформації
11. Розробка класифікатора навантажень мосту
12. Загальна схема процесу глибокого навчання
13. Загальна блок-схема реєстрації зображення
14. Результати реєстрації зображення
15. Висновки

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд літературних джерел	08.11.21–15.11.21	
2.	Огляд оптичних приладів, комплексів і систем навігації	15.11.21–20.11.21	
3.	Розробка моделі оптичної системи навігації мобільних роботів	21.11.21–27.11.21	
4.	Аналіз експериментальних даних	28.11.21–02.12.21	
5.	Графічна частина роботи	25.11.21–02.12.21	
6.	Перевірка керівником	02.12.21–03.12.21	
7.	Перевірка на академічний плагіат	04.12.21	
8.	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	05.12.21–07.12.21	

Дата видачі завдання 8.11.2021 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Сергієнко О.Ю.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи має: 87 с., 29 рис., 6 табл., 2 додатки, 72 джерела.

МОБІЛЬНІ РОБОТИ, НАВІГАЦІЯ, ЛОКАЛЬНА НАВІГАЦІЯ, ОПТИЧНІ СИСТЕМИ, ЗОРОВІ ДАНІ, МІСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ, ПЕРЕШКОДИ

Об'єкт дослідження –система зору для вимірювання динамічного навантаження, якій піддається міст, щоб співвіднести вплив зазначеного навантаження зі зміщенням координат індикатора в мосту, щоб дізнатися, чи зазнала конструкція руйнування, чи вона знаходиться в ситуації ризику обвалення.

Предмет дослідження –оптичні системи мобільних роботів.

Мета кваліфікаційної роботи –розробка системи зору для вимірювання динамічного навантаження транспортних засобів, які в даний момент часу проїжджають по мосту, щоб співвідноситися з переміщеннями координат мосту в цей момент часу.

Методи дослідження – теоретичний аналіз, числові розрахунки, математичне моделювання, статистична обробка даних, аналіз геометрії антропогенних сцен.

Для виконання завдань моніторингу працездатності мостів, розуміння статичної нестабільності мостів через їх взаємодію з транспортними засобами є обов'язковим, навантаження на міст, що є дуже актуальним параметром у співвідношенні з вимірюванням точкового зсуву мосту. Вимірювання динамічного навантаження транспортних засобів, які в даний момент часу проїжджають по мосту, щоб співвідноситися з переміщеннями координат мосту в цей момент часу, тобто оцінка кореляції зі зміщенням координат мосту при його деформації. Оцінка цієї кореляції необхідна, щоб

перевірити, чи спостережуваний зсув мосту пов'язаний з характером його експлуатації чи через його структурні пошкодження.

Метод безперервного моніторингу стану конструкції мостів на основі системи безконтактного оптичного сканування, що використовується для вимірювання вибраних просторових координат на конструкції при розрахунку зміщення вибраних конструктивних координат за безперервний час, і розрахунки навантаження на запропонований міст.

В роботі було розроблено два методи класифікатора навантаження на мости, один з яких базується на глибокому навчанні для класифікації різних транспортних засобів із різним налаштованим спостереженням, з недоліком, пов'язаним із підходом глибокого навчання, пов'язаним із великими даними, необхідними для навчання моделі; і проста модель, заснована на реєстрації зображення для фіксованої камери зверху, щоб класифікувати відсоток заповнюваності визначеної ділянки смуги шосе. Обидва підходи розроблені для їх порівняння та вибору одного з них, який найкраще підходить для відеоспостереження, нового або вже встановленого в кожній мостовій конструкції, що контролюється. Методи не залежать від таких параметрів руху, як вага, навантаження на вісь, конфігурація осі, напрямок або швидкість транспортного засобу; вони залежать лише від положення транспортного засобу на мосту. Майбутня робота повинна бути зосереджена на пошуку більш ефективних і менш дорогих методів обробки зображень із надійною продуктивністю в умовах великого транспортного навантаження та різноманітних умов навколишнього середовища, а також на розробці методології кореляційного аналізу.

В кваліфікаційній роботі були вирішені наступні задачі:

- Вибір контрольно-вимірювальної апаратури датчиків для збору даних при навантаження мостау.
- Створення набору даних з різними варіантами навантаження мосту.

- Вибір і реалізація інтелектуального алгоритму та/або обробки зображень для автоматичної класифікації даних від датчика навантаження мосту.
- Оцінка параметрів, випадкове змішування даних для навчання та перевірки точності та точності алгоритму класифікації.
- Реалізація системи технічного бачення на платформі, що включає отримання даних про навантаження з мосту, його класифікацію, а також етап реагування для співвіднесення даних про навантаження мосту з координатами переміщення мосту.
- Визначення змінних середовищ, які можуть вплинути на результат роботи системи технічного бачення.
- Розрахунок точності та точності отриманих результатів.
- Публікація результатів у тезах на конференціях Молодіжного форуму.

ABSTRACT

The explanatory note of the qualification work has: 87 pp., 29 figs., 6 tables, 2 appendices, 72 sources.

MOBILE WORKS, NAVIGATION, LOCAL NAVIGATION, OPTICAL SYSTEMS, VISUAL DATA, URBAN ENVIRONMENT, INTERFERENCES

The object of the study is a visual system for measuring dynamic stress, which cannot be the maximum to affect the specified load with a shift of the coordinate indicators in the bridge to know whether it knew the structural failure or is at risk of collapse.

The subject of research is optical systems of mobile works.

The purpose of the qualification work is to develop a survey system to measure the dynamic load of vehicles currently traveling on the bridge to correlate with the movement of the coordinates of the bridge at this time.

Research methods - theoretical analysis, numerical calculations, mathematical modeling, statistical data processing, analysis of the geometry of anthropogenic scenes.

To implement the plan of work of bridges, understanding of economic instability due to the interaction of transport bridges with the bridge is mandatory, the load on power is a very important parameter in relation to the measurement of the point bridge. An assessment of this correction is necessary to verify that the observed displacement of the bridge is related to the nature of its operation or due to its structural damage. Continuous monitoring method for the creation of bridges based on non-contact optical scanning systems used to measure vibration coordinates to calculate the displacement of vibration structural coordinates for a continuous time, and calculated the load on the recommended bridge. Two

methods of classifying the load on bridges have been developed, one of which is based on in-depth provision for the classification of different vehicles with different adjusted observations, with the disadvantage of the deep learning approach related to big data required for the learning model; and a simple model based on image registration for a fixed camera from above to classify the percentage of occupancy of a certain section of the highway lane. Both approaches are designed to compare them and select one that is best suited for video surveillance, a new one already installed in any controlled bridge structure. The methods do not depend on such movements as weight, axle load, axle configuration, direction or speed of the transport parameter; they depend only on the position of transport use on the bridge. Future work should focus on finding more efficient and less expensive methods of image processing with reliable performance in heavy traffic and a variety of environmental conditions, as well as on the development of correlation analysis methodologies.

The following tasks were solved in the qualification work:

1. Selection of control and measuring equipment of sensors for data collection during bridge loading.
2. Creating a data set with different load options for the bridge.
3. Selection and implementation of intelligent algorithm and / or image processing for automatic classification of data from the bridge load sensor.
4. Estimation of parameters, random mixing of data for training and checking the accuracy and precision of the classification algorithm.
5. Implementation of a technical vision system on the platform, which includes obtaining data on the load from the bridge, its classification, as well as the response phase to correlate the data on the load of the bridge with the coordinates of the movement of the bridge.
6. Identification of environment variables that may affect the performance of the technical vision system.

7. Calculation of accuracy and precision of the obtained results.
8. Publication of results in abstracts at Youth Forum conferences.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ANN – штучні нейронні мережі;

Вр - пропорційна смуга;

CCW - проти годинникової стрілки;

CW - за годинниковою стрілкою;

FOV - поле зору;

FPGA – field-programmable gate array або програмовані логічні інтегральні схеми;

KNN - k Nearest Neighbor або метод найближчих сусідів (алгоритм класифікації даних);

Kp - коефіцієнт підсилення;

PD- контролер пропорційної похідної;

PL – лазерний позиціонер;

PR – фоторецептор;

PWM або ШІМ - імпульсна модуляція ширини;

RMSE - середня квадратична помилка;

SA- апертура сканування;

SRAM - статична оперативна пам'ять;

TVS – системи технічного зору;

ПІД або PID - пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;

ПЛІС - програмовані логічні інтегральні схеми;

ШІ – штучний інтелект.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП.....	13
1 ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПЕРЕВІРКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОСТІВ ТА АНАЛІЗ ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ЦИМ РОБІТ.....	15
1.1 Аналіз автомобільних мостів в залежності від кількості населення та їх ієрархія відповідно до чинних норм.....	15
1.1.1 Класифікування мостів за їх ієрархією.....	16
1.2 Моніторинг стану конструкції автомобільних мостів.....	19
1.2.1 Аналіз проведення моніторингу структурного стану мостів	20
1.2.2 Аналіз існуючих типів конструкцій	22
1.2.3 Аналіз існуючих типів бетонних мостів та їх основні складові	24
1.2.4 Аналіз різновидів мостів та різновиди їх обслуговування	26
2 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ СИСТЕМИ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ НАВАНТАЖЕННЯ МОСТУ ШЛЯХОМ ОЦІНКИ КОРЕЛЯЦІЇ ЗІ ЗМІЩЕННЯМ КООРДИНАТ ПРИ ЙОГО ДЕФОРМАЦІЇ.....	33
2.1 Аналіз проблеми руйнування мостів.....	33
2.2 Аналіз проблеми класифікації навантаження мосту шляхом оцінки кореляції зі зміщенням координат при його деформації в системах машинного зору.....	36
2.3 Аналіз можливостей моніторингу стану конструкції мостів	40
2.4 Обґрунтування вибору методу класифікації транспортних засобів за зображеннями	43
3 ОГЛЯД ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПЕРЕВІРКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОСТІВ.....	46
3.1 Аналіз методів які базуються на системах розгортки	46

	12
3.1.1 Система оптичного сканування для вимірювання зміщення	46
3.1.2 Принцип апертури оптоелектронного сканування	46
3.2 Аналіз методів які базуються на кореляції даних двох вимірювальних систем.....	52
3.2.1 Множина регресія / кореляція.....	53
3.2.2 Кореляція двох змінних через коефіцієнт кореляції Пірсона	54
3.2.3 Кореляція двох змінних через коефіцієнт кореляції Спірмена	55
3.2.4 Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена	56
4 МЕТОДОЛОГІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ НАВАНТАЖЕННЯ МОСТУ ШЛЯХОМ ОЦІНКИ КОРЕЛЯЦІЇ ЗІ ЗМІЩЕННЯМ КООРДИНАТ ПРИ ЙОГО ДЕФОРМАЦІЇ.....	60
4.1 Оцінка взаємодії транспортного засобу з мостом	60
4.2 Обчислювальні моделі як класифікатори навантаження мостів для оцінки взаємодії місту і транспортного засібу	61
4.2.1 Глибоке навчання для класифікації навантажень моста	62
4.2.2 Процес реєстрації зображення	64
4.3 Розробка класифікатору навантажень мосту	67
ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76
ДОДАТКИ	88
Додаток А	89
Додаток Б.....	98

ВСТУП

Тема цієї роботи «Система машинного зору для класифікації навантаження мосту для оцінки кореляції зі зміщенням координат при його деформації»

Зростання населення та модернізація міст наповнюють будівництво новинних доріг. Виділивши серед них «Мости для автомобільного руху».

Мости як інфраструктура транспортної системи країни мають на меті зв'язувати різні точки з країни та/або різних точок міста, щоб уникнути заторів і дати можливість новим маршрутам дістатися долі за менший час і на менші відстані.

Мости, як і всі інші типи інфраструктури, страждають від руйнування внаслідок різних факторів, таких як:

а) Проектування, використання невідповідних матеріалів і технологій будівництва.

б) Непропорційне зростання динамічних навантажень від тих, хто подорожує.

д) Перевантаження.

г) Природні явища як плин часу, зміни температури, вітер, вологість і сейсмічні рухи.

д) І навіть аварії, які діють на міст (транспортний засіб-транспортний засіб) або на міст (транспортний засіб).

Щоб дізнатися більше про причини, які можуть пошкодити мости, рекомендуємо ознайомитися зі стандартами AASHTO (Американська асоціація державних службовців з автомобільних доріг і транспорту). Структурна система моніторингу стану мостів є надзвичайно важливою практикою, щоб вони могли забезпечити безпеку та обслуговування громади. Крім того, він дає змогу візуалізувати потреби в технічному обслуговуванні, тому передбачити з достатньою мірою кількість ресурсів, які знадобляться для їх збереження, щоб захистити інвестиційний актив.

Традиційно система моніторингу стану конструкції мостів складається з системного огляду та оцінки, здійснюваного спеціалізованим персоналом, зосередженого на виявленні розривів, тріщин та осінь на підконструкції, опорних диспозитивних пошкоджень, тріщин на надбудові, обвалів, обвалів, аварій, пошкодження і корозія компенсаторів [1]. Навісне обладнання аналізується на основі проектної геометрії мосту, а вимірювання вібрації реалізуються, щоб зрозуміти динамічну поведінку моста.

Тим не менш, з розробкою різноманітних методик для структурної системи моніторингу здоров'я мостів з'явилися варіанти реалізації постійного типу системи структурного моніторингу здоров'я мостів для підтримки та/або заміни періодичного або непрямого моніторингу.

У цьому випадку системи оптичного сканування [2] дозволяють безперервно відстежувати раніше вибрані координати над конструкцією, щоб перевірити, чи страждає вона від зміщення, що свідчить про руйнування конструкції мосту.

Однак через взаємодію транспортного засобу та мосту (VBI) у мосту виникають коливання приблизно від 1 до 8 Гц, що призводить до того, що координата, що контролюється, також має флуктуаційну поведінку [3].

Через це система підтримки для системи оптичного сканування необхідна, щоб визначити, чи зміщення координат під моніторингом узгоджується з деградацією мосту, чи це відбувається через взаємодію транспортного засобу та мосту (VBI). У цій роботі була розроблена система зору для класифікації навантажень моста за їх співвідношенням з переміщенням його координат.

1 ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПЕРЕВІРКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОСТІВ ТА АНАЛІЗ ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ЦИМ РОБІТ

1.1 Аналіз автомобільних мостів в залежності від кількості населення та їх ієрархія відповідно до чинних норм

Оскільки кафедра МРЕС має співпрацю з Автономним університетом Нижньої Каліфорнії Мексики, в рамках цієї співпраці в роботі будуть використовуватись данні накопичені дослідниками цього університету, а також будуть розглянуті класифікації доріг прийняті в Мексиці. Мексиці Федеральна безкоштовна мережа з твердим покриттям містить запис у Міністерстві зв'язку та транспорту при Генеральному управлінні охорони доріг і системи мостів Мексики (SIPUMEX), опублікований на її веб-сайті¹. З 9167 мостів по всій країні, зареєстрованих до 2019 року, 213 розташовані в штаті Нижня Каліфорнія і принаймні 123 пов'язані з містом Мехікалі, класифіковані за перешкодами, які вони перетинають (канал, річка або потік, пішохідний перехід, SCT Шосе, Шосе, Залізниця та Шосе, що не є SCT). Серед яких виділяється культовий міст на бульварі Лазаро Карденас і Періферіко Оріенте, більш відомий як «El Puente Pando».

Ці мости Федеральної асфальтованої мережі, що з'єднують міста Мексики, принесли комерційну та соціальну користь населенню близько 120 мільйонів людей у країні та 3 155 070 осіб лише в Нижній Каліфорнії, згідно з останнім переписом INEGI у 2010 році. Через зростання населення та його прогноз за даними Національної ради з питань населення (CONAPO), у 2017 році, як показано на рис. (1.1), надзвичайно важливо, щоб національна автомагістраль та мости були у чудовому стані та з високою безпекою для подорожей через ці мости.

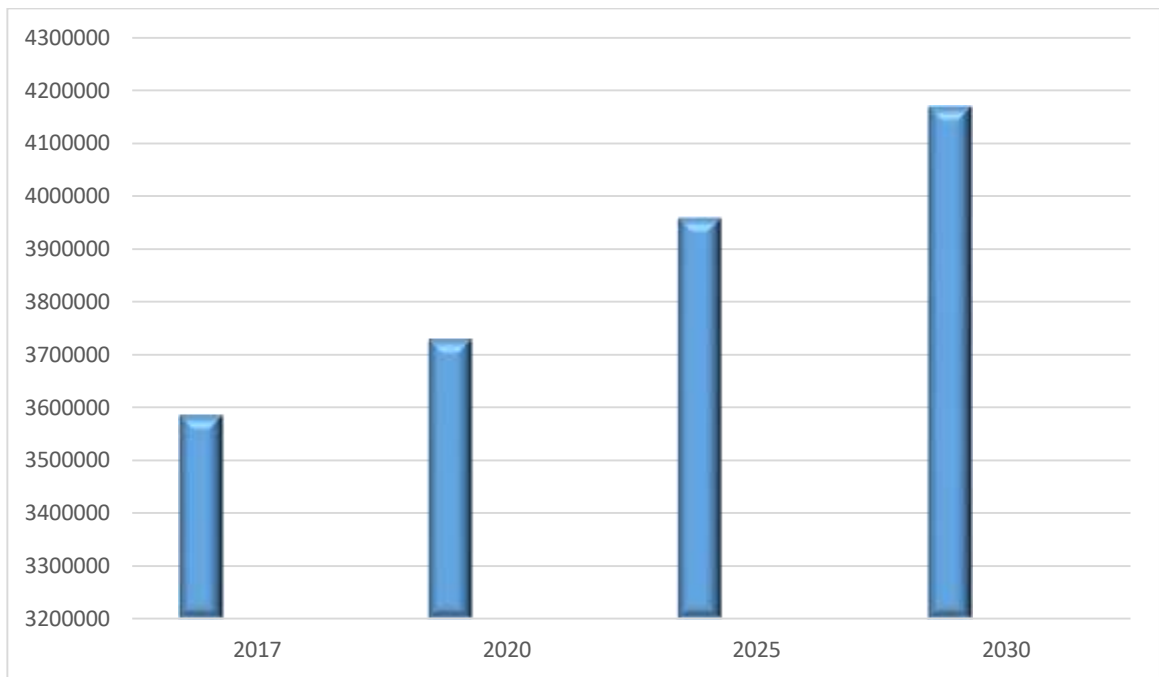


Рисунок 1.1 – Оцінка CONAPO у 2017 році

1.1.1 Класифікування мостів за їх ієрархією

Через це виникають правила використання транспорту та мостів. Такий, як офіційний мексиканський стандарт NOM-012-SCT-2-2017, щодо маси та максимальних розмірів, з якими можуть пересуватися автотранспортні засоби, які рухаються по дорогах федеральної юрисдикції загального користування. Завдяки здатності витримувати великі транспортні навантаження, необхідно, щоб програма SIPUMEX була типовою для федеральних доріг. Ці дороги поділяються на чотири класи: А, В, С і D відповідно до їх TDPA (щоденний середній річний трафік).

- Тип А: для середньорічного щоденного трафіку понад 3000 транспортних засобів, що еквівалентно максимальному річному погодинному руху 360 транспортних засобів або більше.
- Тип В: для середньорічного щоденного трафіку понад 1500-3000 транспортних засобів, що еквівалентно максимальному річному погодинному руху від 60 до 180 транспортних засобів.

- Тип С: для середньорічного щоденного трафіку від 500 до 1500 транспортних засобів, що еквівалентно максимальному річному погодинному руху до 60 транспортних засобів.
- Тип D: для середньорічного щоденного руху понад 100-500 транспортних засобів.
- Тип E: для середньорічного щоденного руху до 100 транспортних засобів.

Офіційний мексиканський стандарт NOM-040-SCT-2-2012 «Для перевезення неподільних предметів великої ваги та/або об'єму, маси та габаритів автомобільних комбінацій та промислових кранів та їх транзит через дороги та мости федеральної юрисдикції», встановлює години руху на дорогах і мостах, яким повинні відповідати транспортні засоби для спеціальних вантажів, згідно з таблицею (1.1):

Таблиця 1.1 – Класифікація доріг за їх геометричними характеристиками

Тип дороги	Номенклатура	Опис
Шосе чотири смуги, Транспортний вузол	ET4	Це ті, що є частиною транспортної осі, встановленої SCT, геометричні та конструктивні характеристики яких дозволяють експлуатувати всі дозволені транспортні засоби з максимальними габаритами, місткістю та масою, за винятком спеціальних габаритів.
Двосмугове шосе, Транспортний вузол	ET2	Це ті, які завдяки своїм геометричним і конструктивним характеристикам дозволяють експлуатувати дозволені
Шосе чотири смуги	A4	Це ті, які завдяки своїм геометричним і конструктивним характеристикам дозволяють експлуатувати дозволені

Шосе дві смуги	A2	транспортні засоби з максимальними габаритами, місткістю та масою, за винятком тих транспортних засобів, які через розміри та вагу дозволені лише на дорогах типу ET.
Шосе чотири смуги, первинна мережа.	B4	Це ті, які складають первинну мережу, яка надає послуги міждержавного зв'язку.
Двосмугове шосе, первинна мережа.	B2	
Двосмугове шосе, вторинна мережа.	C	Вторинна мережа. Його обслуговування зводиться до державного рівня із середніми довжинами, встановлюючи з'єднання з мережею.
Двосмугове шосе, Сільська дорога	D	Живильна мережа. Вони надають послуги в межах муніципалітету з відносно короткою протяжністю, встановлюючи з'єднання з вторинною мережею.

- Вони можуть рухатися лише на дорогах типу ET4, A4, B4: з понеділка по п'ятницю з 00:00 до 23:59. По суботах з 6:00 до 14:00.
- Коли вони подорожують дорогами типу ET2, A2, B2, C або D, вони працюватимуть у такому режимі: з понеділка по п'ятницю, у світлий час з 6:00 до 18:30 та вночі з 00:00 до 6:00: 00 годин ранку; і з 18:30 до 23:59 годин, умовно для руху з двома пілотними автомобілями, одним спереду, а іншим ззаду. По суботах з 6:00 до 14:00.

В якості додаткової інформації важливо зазначити, що транспортні засоби зі спеціальними вантажами повинні бути керовані жовтими пілотними

блоками і позначені їх назвою збоку, див. рисунок (4.2). Ці транспортні засоби повинні мати башти та знаки, які уточнюють, що проїзд транспортного засобу з надмірною шириною, надлишковою довжиною або надлишковими розмірами охороняється.



Рисунок 1.2 – Пілотний блок для проїзду транспортних засобів зі спеціальними вантажами

1.2 Моніторинг стану конструкції автомобільних мостів

Мости піддаються різним типам механізмів руйнування, таким як корозія, втома, карбонізації або реакції лужно-агрегатного характеру, через старіння, умови навколишнього середовища та перевантаження. Протягом століть SHM виконувався шляхом візуального огляду експертами для виявлення дефектів, зносу та пошкоджень. Сьогодні стратегії SHM використовують датчики та інформаційні технології для безперервного збору даних для розробки методів, які забезпечують більш точне уявлення про продуктивність конструкцій, ніж традиційні стратегії. Переваги методів безперервного моніторингу полягають у тому, що вони дозволяють контролювати конструкції під час їх експлуатації. Вони також дозволяють знати глобальну історичну поведінку мостів, щоб показати тенденції деградації, а не лише виявляти наслідки екстремальних подій, таких як зіткнення або екологічні напади (сильні землетруси або урагани) [34]. SHM

мостів оцінює їх цілісність, а також включає аналіз залишкового ресурсу та їх вантажопідйомності. Зібрані дані використовуються для оптимізації роботи, обслуговування та ремонту мостів. У сучасному стані безперервними стратегіями SHM є стратегії, засновані на вібраціях для аналізу [35] [36] режимів частот поширення керованих хвиль, бездротових сенсорних мереж, що активуються напругою, прискоренням і на основі часу [37], комп'ютерні - бачення для обробки цифрових зображень і лазерних сигналів за допомогою традиційних алгоритмів і машинного навчання [38], а також структуроване світло на основі оптичного сканування [39].

Вимірювання величин SHM не є універсальними; вони залежать від використовуваної технології та методу, а також від характеристик мосту. Величина зміщення особливо важлива для оцінки стану моста, оскільки вказує на відхилення моста від вихідної конструкції, але його важко виміряти, оскільки для цього потрібна нерухома опорна точка [40] або метод кореляції між вимірюваннями переміщення та переміщенням мосту через взаємодію міст і транспортний засіб, як запропоновано в цій дипломній роботі. Для розрахунку переміщення використовувалися різні датчики, акселерометри, тензометри, інклінометри, деформація волоконно-оптичної решітки Брегга, однак отримана інформація обмежена кількістю точок, обладнаних датчиками, як рішення, щоб розширити вимірювання. пропонує використовувати системи оптичного сканування, які можуть безперервно і безконтактно контролювати велику кількість точок на заданій конструкції, наприклад, мости, за допомогою однієї системи.

1.2.1 Аналіз проведення моніторингу структурного стану мостів

Моніторинг працездатності споруд спрямований на отримання безперервних і далеких даних, які необхідні для оцінки цивільних і промислових споруд, щоб передбачити, чи знаходяться ці споруди в оптимальних умовах для виконання своїх функцій.

За допомогою моніторингу стану конструкцій можна оцінити, чи є пошкодження, які загрожують конструкції, яка контролюється. Загалом, існує широкий спектр датчиків, які можна використовувати для безперервного збору даних протягом тривалого часу по всій структурі для збору даних у різних точках. Таким чином, можна передбачити термін служби конструкції та прийняти рішення щодо належного обслуговування або необхідності заміни конструкції. Із застосуванням технологій можна створити кращий план обслуговування цивільних і промислових споруд, оскільки зараз це робиться візуально. Це може замінити прийоми отримання руйнівних доказів конструкції, а також уникнути ризику для здоров'я керівників, які зараз оглядають недоступні місця, або висять під мостом, або з безперервним рухом [41], як показано на рис. (4.3), де показаний візуальний огляд, що є високим ризиком.



Рисунок 1.3 – Візуальний огляд під мостом

З розвитком технологій обробка даних дозволяє керувати великими обсягами інформації, яку структурний моніторинг їх стану та штучний інтелект можуть використовувати для виконання аналізу, як для виділення шаблонів, так і для класифікації, щоб краще зрозуміти поведінку структури. Також можна отримувати сповіщення в режимі реального часу про можливі

пошкодження конструкції, а також точніше визначати місце пошкодження конструкції.

Конструкції і особливо мости зазнають пошкоджень від різних причин щодня, і моніторинг їх технічного стану важливий, оскільки через ці пошкодження були спричинені численні катастрофи, що спричинили багато втрат, як економічних, так і людських. З цієї причини моніторинг стану конструкцій відповідає за визначення та локалізацію пошкоджень конструкцій та прогнозування життєвого циклу цих конструкцій [42].

1.2.2 Аналіз існуючих типів конструкцій

Структура. У будівництві це назва набору елементів, з'єднаних, зібраних або з'єднаних один з одним, які мають функцію прийому навантажень, підтримки зусиль і передачі цих навантажень на землю, таким чином гарантуючи статично стійку функцію будівництво.

Кожна будівля має ряд елементів, без яких неможливо зберегти її статичною. Вони необхідні для досягнення повної або часткової нерухомості конструкції, тому мають механічну або статично стійку функцію, що дозволить будівлі зберігати свої істотні характеристики відповідно до її призначення та економічних вимог.

Ці елементи, відомі як структура, певним чином пов'язані один з одним і становлять опору будівлі.

З конструктивної точки зору кожна будівля складається з несучих і опорних елементів. Прикладом цього є конструкція, яка підтримує дах будинку; Необхідно спорудити конструкцію, яка підтримує сам дах, а та, в свою чергу, підтримує дах, щоб вона не впала.

Стіни. Вони є елементами конструкції, які мають функцію замикання, підтримки або утримання. Стіна витримує навантаження, які до неї прикладаються, і передає їх на землю через фундамент. Ця передача є лінійною, тобто вздовж стіни, див. рисунок (4.4).



Рисунок 1.4 – Структура стіни

Колони. Зазвичай вони працюють на стиск, передаючи навантаження на землю через її фундамент. Його функція принципово підтримує, див. рис. 4.5.



Рисунок 1.5 – Структура колон

Балки. Вони являють собою прості елементи, як правило, з прямолінійною віссю, які мають функцію прийому навантажень. Вони спираються на одну або кілька опор: коли вони підтримуються своїми кінцями і вони вільно обертаються, їх називають опорними. Якщо балки мають кілька прольотів і поводяться як єдине ціле, їх називають суцільними балками. Найбільш поширеними напругами, яким піддаються балки, є напруги згину та зсуву. Вони передають навантаження на інші балки, колони або стіни в залежності від виду робіт, що проводяться на конструкції, див. рисунок 1.6.



Рисунок 1.6 - Структура балки

1.2.3 Аналіз існуючих типів бетонних мостів та їх основні складові

Моніторинг працездатності конструкцій перевіряє пошкодження конструкцій, щоб переконатися, що вони безпечні. Знос – це пошкодження, які виникають при експлуатації мостових конструкцій протягом терміну їх експлуатації. Ось чому міст необхідно перевірити.

Коли міст починає виконувати свою функцію і виникає негайне пошкодження, це пов'язано з дефектним проектом, переважно в мостах, перевіряється, чи є тріщини в бетоні, деформації та корозія в металі та зварювальних матеріалах [41]. Знос або несуча поверхня Це вимощення верхньої поверхні та доступ до мосту. Його будують з тротуарів з бетону або асфальту.

Балки. Його завдання – підтримувати навантаження, але при цьому надавати гнучкості конструкції. Бетон є найбільш поширеним матеріалом для балок. Вони в основному розміщені поздовжньо в напрямку руху транспорту.

Діафрагми. Діафрагми передають зусилля, щоб безпосередньо підтримувати плиту, яка знаходиться на балках. Це досягається проколом балок залізними прутами. Діафрагми виготовляються з різних матеріалів, таких як залізо, бетон або дерево.

Основна плита. Плити – це конструкції, які мають плоскі та безперервні форми та спираються на балки та діафрагми. Робота, яку вони виконують, полягає в тому, щоб підтримувати навантаження, які вони отримують від автомобільного руху.

Прокладки. З'єднання допускають рухи в конструкції мосту, такі як зміни температури, ефекти втягування, навантаження від транспорту або диференційні осідання, гарантуючи безпеку мосту.

Опори мостів. Опори призначені для передачі навантажень на фундамент, щоб допомогти насипу та запобігти ерозії.

Містовий стек. Опори моста мають функцію з'єднання та передачі горизонтальних і вертикальних навантажень на опори, які приймають автомобільний рух. Ці опори будують там, де під мостом є прохід води. Він не повинен заважати течії води.

Фундаменти на мостах. Фундамент передає навантаження на ґрунт, забезпечуючи надійність конструкції моста. Зазвичай вони виготовляються з бетону.

Фундаментні плити. Ці конструкції побудовані для збільшення площі над землею, яка буде сприймати навантаження. Вони можуть бути виготовлені із залізобетону або конструкційного арматурного заліза. Вони використовуються в ґрунтах з низькою стійкістю.

Огородження, що примикають до конструкції моста

Вони необхідні у зв'язку з пошкодженням, завданім природними явищами, щоб забезпечити належне функціонування мостів. Деякі з цих засобів захисту: схили, стіни, під'їзні плити, насипи та таке інше.

Розглянемо комплементарні елементи мостів:

– Перила.

Вони використовуються для захисту пішоходів, уникнення можливих падінь з мосту або того, щоб легкі транспортні засоби залишали міст.

– Тротуари.

Тротуари забезпечують безпечний проїзд для пішоходів. Зазвичай їх будують з боків мосту.

- Допоміжні пристрої.

Опорні пристрої забезпечують взаємодію навантажень між опорами та опорами мосту.

- Протисейсмічні буфери.

Протисейсмічні упори споруджуються з бетону під прокладками між балками. Їх функція — зменшити поперечний рух, який вони могли б мати під час землетрусу.

- Антисейсмічні планки.

Протисейсмічні бруски укладають на опорну плиту балок, їх змащують і обшивають трубопроводом для запобігання окислення. Їх функція полягає в тому, що в разі землетрусу під час коливань вони уникають різкого руху, щоб під час землетрусу роз'єднувалися балки та упори мосту.

- Анкерні болти та пристрої.

Ці пристосування використовуються для фіксації стиків і опор. Вони часто виготовляються з нержавіючої сталі, а для запобігання корозії бетону використовується металеве покриття.

- Протоки та водостоки.

Ці елементи запобігають накопиченню води і спрямовують потік води на зовнішню частину моста. Це можуть бути жолоби з кладки, бетонні жолоби, труби, бетонні жолоби з асфальтовим сидінням.

1.2.4 Аналіз різновидів мостів та різновиди їх обслуговування

Щоб спланувати технічне обслуговування моста, спочатку міст перевіряють на наявність дефектів у його конструкціях. При цьому також передбачається виконання робочої програми від найневідкладнішої за її складністю до профілактичного обслуговування та середньорічного

середньодобового трафіку (ТДРА). Вони також використовуються для створення бюджету 2.

Деякі роботи планового та періодичного технічного обслуговування подібні, але їх відмінності полягають у тому, що обсяги робіт з періодичного технічного обслуговування більші і в основному включають роботи: повна або часткова заміна бетонних плит, бетонні та сталеві ремонти в сигнальних конструкціях та заміни.

Розглянемо елементи регулярного технічного обслуговування.

Поверхня прокатки. Процес технічного обслуговування рухомого покриття полягає в тому, щоб залишити дорогу без будь-яких матеріалів або предметів для її правильної експлуатації.



Рисунок 1.7 - Робота на робочій поверхні

Надбудова. Це процеси технічного обслуговування, які здійснюються в надбудові, які гарантують гарний стан з точки зору іміджу та безпеки, а також не допускають зношення будь-якого з її елементів.



Рисунок 1.8 - Очищення парпетів

Підструктура. Це процеси технічного обслуговування, які здійснюються в підконструкції, які гарантують гарний стан з точки зору іміджу та безпеки, а також не допускають зношення будь-якого з його елементів.



Рисунок 1.9 - Очищення швів армованих земляних стін

Фундамент. Планові роботи з технічного обслуговування деяких фундаментних конструкцій не виконуються, тому що вони недоступні.

Допоміжні пристрої. Регулярне технічне обслуговування опорних пристроїв проводиться для забезпечення їх справного стану та роботи, а також для запобігання їх зносу.



Рисунок 1.10 – Захист від негоди на основі пінополіуретану

Доступ. Для того, щоб забезпечити оптимальні умови доступів до мостових конструкцій з точки зору водовідведення, безпеки та іміджу, проводяться необхідні поточні роботи з технічного обслуговування.



Рисунок 1.11 - Фарба на захисних плитах і конусах розливу

Створення розміток. Переставлення, очищення та встановлення нових вивісок здійснюються на вертикальних або горизонтальних вивісках.



Рисунок 1.12 - Переміщення позначок на тротуарі

Розглянемо елементи періодичного обслуговування.

Поверхня прокатки. Процес технічного обслуговування рухомого покриття полягає в тому, щоб залишити дорогу без будь-яких матеріалів або предметів для її правильної експлуатації.



Рисунок 1.13 - Повторна накатка на поверхні рухомого матеріалу

Надбудова. Це процеси технічного обслуговування, які здійснюються в надбудові, які гарантують гарний стан з точки зору іміджу та безпеки, а також не допускають зношення будь-якого з її елементів.



Рисунок 1.14 - Ремонт прокладок і тротуарів

Підструктура. Це процеси технічного обслуговування, які здійснюються в підконструкції, які гарантують гарний стан з точки зору іміджу та безпеки, а також не допускають зношення будь-якого з його елементів.



Рисунок 1.15 – Конструкція розливних конусів

Фундамент. Періодичний ремонт деяких фундаментних конструкцій не виконується через те, що вони недоступні.

Комплементарні та діючі елементи конструкції. Це під'їзди, знаки, обмеження руху та всі види діяльності, що виконуються для ремонту чи

реконструкції будь-якого елемента чи фізичного пристрою, незалежно від того, чи зроблені вони з бетону, сталі, неопрену, дерева тощо, які є елементами, відповідальними за роботу моста та/або доступів.



Рисунок 1.16 – Повторне вирівнювання доступу

2 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ СИСТЕМИ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ НАВАНТАЖЕННЯ МОСТУ ШЛЯХОМ ОЦІНКИ КОРЕЛЯЦІЇ ЗІ ЗМІЩЕННЯМ КООРДИНАТ ПРИ ЙОГО ДЕФОРМАЦІЇ

2.1 Аналіз проблеми руйнування мостів

У 1990 році населення Мексики становило 81 249 645 жителів, а в 2010 році воно продовжувало зростати до 112 336 538 осіб. Лише в штаті Нижня Каліфорнія в 1990 році вона мала населення 1 660 855 осіб, яке зросло до 3 155 070 чоловік. ефективні транспортні системи. У давнину транспорт здійснювався наземним транспортом для перевезення людей і легких вантажів. Для більш важких навантажень їх передача ставала повільнішою. Морські шляхи вимагали портів і, у будь-якому випадку, доріг для перевезення вантажів у межах деяких регіонів. Ці дороги були неефективними, оскільки були короткими, зазвичай їх будували для сполучення з основними містами. У Мексиці дорожні мережі були загострені через їх велике географічне розмаїття. Тому вони потребували будівництва мостів.

У географічному контексті, наприклад у Мексиканській республіці, автомагістралі з'єднують сільські райони з рештою країни, інтегруючи населення цих районів. Саме тому національна система автомобільних доріг і мостів повинна залишатися в оптимальних умовах для транзиту через мережу автомобільних доріг, щоб транспорт розвивався ефективно та безпечно. Стандарт NOM-012-SCT-2-2017 щодо маси та максимальних габаритів, з якими можуть пересуватися автотранспортні засоби, що рухаються по дорогах загального користування федеральної юрисдикції, класифікує мости на:

- Шосе чотири смуги. Транспортна вісь (ET4).

- Двосмугове шосе. Транспортна вісь (ET2).
- Шосе чотирисмугове (A4).
- Двосмугова дорога (A2).
- Шосе чотири смуги. Первинна мережа (B4).
- Двосмугове шосе. Первинна мережа (B2).
- Двосмугове шосе. Вторинна мережа (C).
- Двосмугове шосе. Сільські дороги (D).

Мости часто є найбільш вразливими конструкціями на мережах доріг і з високими витратами на розвиток автомобільних доріг.

Умови, що впливають на конструкції мосту, - це перевантаження, які здійснює транспорт при пересуванні по дорогах, і враховуючи, що великій кількості мостів більше півстоліття. Ефекти також обумовлені:

- Невідповідний дизайн, використання матеріалів і техніки будівництва.
- Надмірне зростання динамічних навантажень, які їх переносять.
- Перевантаження.
- Природні явища, такі як плин часу, зміни температури, вітри, вологість і сейсмічні рухи.
- Зіткнення, що відбуваються всередині мосту (транспортний засіб-транспортний засіб) або з самим мостом (транспортний засіб-міст).

Все це призводить до того, що деякі з конструкцій мають руйнування в їх конструкційній стійкості та вантажопідйомності, ця умова призводить до відсутності безпеки руху з підвищенням ризиків.

Моніторинг працездатності конструкцій (SHM) — це процес, який дозволяє спостерігати за цілісністю конструкції протягом тривалого часу, що дозволяє створювати стратегії технічного обслуговування з метою запобігання катастрофічних пошкоджень конструкції та уникнення пошкодження людей. Міністерство зв'язку та транспорту (SCT) публікує Посібник з інспекції та збереження мостів, том I і II, заснований на правилах Сполучених Штатів Америки (Керівництво AASHTO з обслуговування мостів, 1976, Керівництво з огляду мостів і оптимізації технічного

обслуговування Роботи з технічного обслуговування.-Фарбування мостів.) і є одним, який залишається в силі до сьогодні. У Мексиці існують дві системи управління мостами:

- Мексиканська мостова система (SIPUMEX) була створена Головним управлінням охорони автомобільних доріг Міністерства зв'язку та транспорту для управління мостами федеральної мережі безкоштовного користування, що знаходиться під його відповідальності.
- Система доріг і мостів (CAPUFE), місією якої є експлуатація, збереження, адміністрування доріг і платних мостів як концесіонер.

Звичайною процедурою моніторингу працездатності конструкції спеціалізованого персоналу є аналіз геометрії мосту в його конструкції та виконання вимірювань вібрації, щоб дізнатися динамічну поведінку мосту, в основному вона складається з візуальних оглядів. Він шукає несправності в роздратуванні, тріщинах і осіданнях в підконструкції, пошкодження опорних пристроїв, тріщини в надбудові, обвалення, просідання, удари, пошкодження компенсаторів і корозію [1]. Аналізується відповідність геометрії мосту його конструкції та проводяться вимірювання вібрації для визначення динамічної поведінки моста. Природні речовини завдають шкоди конструкціям, побудованим цивільним будівництвом. У мостах бетон тріскається і має тенденцію перетворюватися на гравій і відокремлювати кам'яні матеріали, викликані зміною температури або безперервним контактом води. Таким же чином сталь руйнується від окислення. Ґрунти, на яких розташовані ці споруди, також через проходження води та проливних дощів викликають ерозію, заселення. Землетруси також загрожують цілісності мостів і, в кінцевому підсумку, зіткненням з мостовою конструкцією.

За допомогою сучасних методів структурного моніторингу стану здоров'я та спеціалізованого персоналу перевіряються споруди, які розташовані за декілька кілометрів від місця проживання персоналу, що збільшує їх вартість, тому необхідно мати моніторинг такого типу.

безперервна конструкційна працездатність мостів для підтримки періодичного або непрямого моніторингу. Такий випадок з системами оптичного сканування [2], які постійно відстежують попередньо вибрані координати на конструкції, щоб перевірити, чи є зміщення на конструкції мосту, і вказати, що вона може зазнати зношування. Ці дані можна збирати з будь-якого місця.

Однак через взаємодію транспортного засобу та мосту (VBI) в мосту виникають коливання, які призводять до того, що координата, що контролюється, також має коливальну поведінку [3].

У цьому дослідженні була розроблена система технічного зору для класифікації навантаження на міст за її співвідношенням із зміщенням його координат. Комерційна відеокамера була використана для зйомки автомобільних смуг мосту, щоб визначити навантаження, яке відчуває міст через рух, що циркулює по ньому в певний момент часу, щоб співвіднести навантаження, наявне в цей момент час з позицією координати, що контролюється в той самий момент часу.

Цей проект був здійснений з метою створення технічних і наукових основ класифікації транспортних засобів на зображеннях, отриманих за допомогою алгоритмів штучного інтелекту та обробки зображень, щоб створити прецеденти для майбутньої системи технічного зору з більш високою роздільною здатністю та її інтеграції в систему оптичного сканування.

2.2 Аналіз проблеми класифікації навантаження мосту шляхом оцінки кореляції зі зміщенням координат при його деформації в системах машинного зору

Традиційно моніторинг працездатності конструкції мостів складається з систематичних оглядів та оцінок спеціалізованим персоналом, зосереджених, в основному, на виявленні розривів, тріщин і осінь в

підконструкції, пошкоджень опорних пристроїв, тріщин у надбудові, обвалень, просідання, ударів, пошкодження компенсаторів і корозія [1]. Аналізується відповідність геометрії мосту його конструкції та проводяться вимірювання вібрації для визначення динамічної поведінки моста.

Проте, з розвитком різних методів моніторингу працездатності конструкції, з'явилися варіанти проведення постійного моніторингу працездатності конструкції мостів для підтримки та/або заміни періодичного або непрямого моніторингу.

Такий випадок із системами оптичного сканування [2], які дозволяють безперервно відстежувати раніше вибрані координати на конструкції, щоб перевірити, чи зазнає вона зміщення, що вказує на те, що конструкція моста зазнає руйнування.

Однак через взаємодію транспортного засобу з мостом виникають коливання в мосту з частотою приблизно від 1 до 8 Гц, що призводить до того, що координата, що контролюється, також демонструє коливальну поведінку [3].

З цієї причини для системи оптичного сканування потрібна система підтримки, щоб визначити, чи відповідають зміщення координат, що контролюються, деградації мосту чи ефекту взаємодії транспортного засобу та мосту.

Згідно з дослідженням, проведеним у Канаді з метою оцінки несучої здатності старіючих мостів, ризик загибелі через руйнування конструкції становить 0,1 мільйона людей на рік [4], хоча ця статистика може класифікувати факт як низький ризик, моніторинг працездатності конструкцій сприяє збереженню цього показника на низькому рівні, оскільки надає дані, які допомагають приймати рішення щодо профілактичного обслуговування, використання та ремонту конструкцій.

Звичайні технології оцінки мостів складаються з візуального огляду, руйнівного контролю елементів мостової конструкції, а іноді і неруйнівного контролю. У той час як системи моніторингу конструкції, засновані на

нетрадиційних методах, зазвичай інтегруються з датчиками, підсистемами збору даних, підсистемами обробки сигналів і зберігання даних, підсистемами зв'язку, а також інтелектуальними системами моделювання поведінки конструкції та виявлення пошкоджень на основі знань поведінки конструкції.

Нові технології моніторингу конструкцій дозволяють здійснювати моніторинг відповідно до попиту на послугу або безперервно, оскільки через вплив використання мостів у громаді важливо, щоб він працював, це те, що є, з найменшими порушеннями у вашій службі, і тому дуже цінно, що вона може залишатися включеною під час вашого структурного моніторингу.

У науковій літературі є кілька повідомлень про інновації та розвиток автономних систем, здатних здійснювати безперервний моніторинг, наприклад, такі системи:

- Системи на основі волоконно-оптичних датчиків і армованого волокном полімеру [5].
- Системи на основі датчиків напруги (деформація електричного опору) та методу BWIM (мостове зважування в русі) [6].
- Системи на основі різних перетворювачів і датчиків, таких як WASHMS (система моніторингу стану вітру та структур), розроблена в Гонконзі, яка оснащена трьома модулями:
 - а) Вхідні параметри для моніторингу вітру, температури, руху та сейсмічних навантажень;
 - б) Параметри системи для моніторингу коефіцієнтів статичного впливу та глобальних динамічних характеристик;
 - в) Вихідні параметри для моніторингу коливань геометрії моста (переміщень) та натягу його елементів [7].
 - Системи на основі п'єзоелектричних датчиків для визначення напруги та прискорень у конструкції [8].
 - Системи на основі вимірювачів нахилу та глобальної системи позиціонування (GPS) [9] [10].

- Системи на основі аналізу акустичних сигналів, отриманих за допомогою мікрофонів [11] [12].
- Системи на основі інтелектуальних технологій, смартфони, доступні камери з високою роздільною здатністю, дрони (БПЛА) і роботизовані датчики [13].
- Сканувальні системи на основі лазерної технології [14].
- Сканувальні системи на основі оптоелектронної апертури та некогерентного джерела світла для вимірювання координат та оцінки переміщення [15].

Система оптичного сканування отримала задовільні результати для вимірювання переміщень, вона контролювала зміщення статичних конструкцій, таких як будівлі [2]. Однак для використання в моніторингу мостів необхідно було дослідити, в яких діапазонах частот мости зазвичай коливаються, оскільки робочий діапазон системи розгортки становить від 20 Гц до 60 Гц.

Було виявлено, що мости демонструють невеликі коливання через вплив кількох факторів, включаючи нерівність дороги, взаємодію транспортного засобу з мостом, швидкість руху транспортного засобу та довжину мосту. Згідно з публікацією [3], ці частоти знаходяться в діапазоні від 1 до 8 Гц. Беручи до уваги, що систему оптичного сканування доцільно та зручно використовувати для моніторингу переміщення в мостах, але необхідна система підтримки для системи оптичного сканування, щоб визначити, чи відповідають зміщення координат, що контролюються, деградації міст або ефект взаємодії транспортного засобу та мосту. Для цього була розроблена система технічного зору для класифікації навантаження на міст для його кореляції зі зміщенням його координат за допомогою використання автомобільних наборів даних та використання комерційної відеокамери для зйомки смуг. Транспортні засоби мосту щоб визначити навантаження, яке відчуває міст через рух, що циркулює по ньому в певний

момент часу, щоб зв'язати навантаження, наявне в цей момент часу, з положенням координати, що контролюється в той же момент часу час.

2.3 Аналіз можливостей моніторингу стану конструкції мостів

Постійний структурний моніторинг стану (SHM) мостів необхідний для пошуку інформації про їх стан. Це важливо для розуміння їхньої поведінки, щоб знати, чи вони працюють у здорових умовах, чи перевантажені та/або перебувають у процесі низької/середньої/високої деградації.

Оскільки міста ростуть та модернізуються, транспортний рух збільшується, а проектування мостів стає дедалі складнішим, до того ж розумні міста, концепції сталого розвитку та поява розумних технологій керують заміною звичайних методів моніторингу стану структур безконтактними безперервними методами SHM.

З іншого боку, SHM завжди був складним завданням. З'явився широкий спектр технологій, що породжують різні системи SHM, залежно від характеристик структури, що контролюється, різні системи SHM адаптують методологію свого застосування та впровадження. Таким є випадок систем оптичного сканування (OSS), що використовуються для вимірювання переміщення, які досягли задовільних результатів у своїй реалізації в статичних конструкціях, таких як будівлі [2], але коли вони реалізовані в SHM мостів, вони вимагають аналізуючи взаємодію транспортного засобу та мосту (VBI), щоб співвіднести навантаження від транспортного руху зі зміщенням конструкції мосту.

Транспортне навантаження можна оцінити за наявністю транспортних засобів, існують різні підходи до виявлення транспортних засобів, засновані на різних технологіях та їх комбінаціях, наприклад:

- гнучкий датчик тиску, який базується на змінах ємності через зміну відстані між двома електродами в застосовуваному зовнішньому тиск [18];

- індуктивні шлейфові датчики, що складаються з 2-3 витків ізольованого дроту, вбудованого в тротуар, для вимірювання зміни індуктивності системи при проходженні транспортного засобу через петлі [19];
- мікрохвильовий радар на основі частотно-модульованих безперервних хвиль, що передаються для відбиття від поверхні транспортних засобів, напрямки відлуння сигналів яких оцінюються за допомогою обробки сигналів для виявлення транспортних засобів та їх швидкості [20];
- радіолокаційна технологія в синергії з інфрачервоними датчиками з використанням алгоритмів злиття даних [21];
- монокулярний зір в інфрачервоних зображеннях, заснований на аналізі сигналів, що подаються від рівня тепла у вихлопних трубах і шинах транспортних засобів на дорозі з використанням алгоритмів класифікації [22];
- Датчик виявлення світла та дальності (лідар), заснований на принципі, подібному до радара, знімає швидкі імпульси лазерного світла на поверхню автомобіля, щоб виміряти кількість часу, необхідного для відновлення кожного імпульсу, таким чином визначаючи відстань до об'єктів, які оточують його, забезпечуючи хмару точок [23];
- Ультразвуковий датчик, який використовує основний принцип поширення і відбиття звуку через матеріал в ультразвуковому діапазоні частот, цей датчик має передавач, який передає ультразвукові хвилі, коли хвилі потрапляють на транспортний засіб, частина його енергії відбивається назад до приймача датчика як ехо-сигнал для визначення його положення та швидкості [24];
- пасивний акустичний датчик, який записує шум водіння автомобіля, щоб оцінити структуру акустичної хвилі отриманих сигналів, що генеруються двигуном, шинами, вихлопною системою, аеродинамічними та механічними ефектами (наприклад, обертанням осі, гальмівними колодками та підвіскою), щоб визначити профіль транспортного засобу [25];

- системи з принципом роботи на основі двох модульованих інфрачервоних випромінювачів і фотодіода з оптичним фільтром як приймача, обидві встановлені на площині виявлення, кожен раз, коли їх зв'язок переривається, система зараховує це як зайнятість транспортного засобу [26];
- бездротовий анізотропний магніторезистивний датчик, що використовується для виявлення геомагнітних збурень навколо екватора Землі в режимі реального часу через феромагнітний матеріал, у поєднанні з ультразвуковим датчиком відстані для визначення положення транспортних засобів [27,28], заснованих на моно- або стереосистемах камер, наприклад, у [29] монокулярна камера використовується для оцінки відстані транспортних засобів за допомогою виявленої інформації про смугу руху та моделі камери-обскури, яка складається з математичного співвідношення між координатами точки в тривимірному просторі та її проекцією на транспортний засіб.

Площина зображення ідеальної камери-обскури, де апертура камери описується як точка, і для фокусування світла не використовуються лінзи, тоді як у [30] комбінація обох методів є злиттям, монокулярною камерою та бінокулярною стереокамерою є об'єднано для оптимізації оцінки кадру ОБС спорядження цільового транспортного засобу. Більшість методів, заснованих на комп'ютерному баченні, ґрунтуються на відео та в основному базуються на цифровій обробці зображень, штучному інтелекті та технологіях, пов'язаних із видобутком даних [31]. Для розробки даної роботи було обрано оцінку взаємодії транспортного засобу з мостом на основі обробки зображень руху транспортних засобів. Рішення було прийнято з огляду на те, що сьогодні тенденцією сучасних міст, які містять мости в транспортних системах, є прийняття концепцій розумного міста [32]. Це передбачає встановлення на мостах відеоспостереження для виявлення та відстеження транспортних засобів різного призначення. Оскільки відеоспостереження є недооціненим джерелом інформації про дорожній рух, яке вже встановлено та доступне на більшості мостів, обробка зображень була обрана для

вилучення індикатора навантаження з мосту, щоб корелювати з вимірами переміщення [33].

2.4 Обґрунтування вибору методу класифікації транспортних засобів за зображеннями

Незважаючи на те, що технологія значно розвинулась за останнє десятиліття і існує велика кількість наукових публікацій про розробку систем для безперервного моніторингу працездатності конструкції мостів, таких як описані в постановці проблеми, в даний час в Мексиці інспекція та оцінка мостів продовжує здійснюватися візуально [16], де описана практика інспекції мостів у системі автомобільних доріг країни, що дозволяє в загальному вигляді дізнатися про поточний структурний стан кожної роботи, через Звіти Системи мостів у Мексиці (SIPUMEX) та Системи адміністрування мостів (SIAP).

За даними Генерального директорату з охорони автомобільних доріг заступника міністра інфраструктури SCT (2019), список мостів, що належать до мережі безкоштовних платних проїздів Федерального павільйону, містить 9167 мостів по всій країні, з яких 213 розташовані в штаті Нижня Каліфорнія. І щонайменше 123 пов'язані з містом Мехікалі, класифікованими за перешкодами, які вони перетинають (канал, річка або потік, пішохідний перехід, шосе SCT, шосе без SCT, залізниця та шосе). Серед яких виділяється культовий міст на бульварі Лазаро Карденас і Періферіко Оріенте, більш відомий як «El Puente Pando». Що також є приводом для натхнення та виправдання для адаптації раніше згаданої системи оптичного сканування для використання не лише для моніторингу статичних конструкцій, таких як будівлі, а й для моніторингу мостів. Для здійснення цієї адаптації була розроблена система підтримки для системи оптичного сканування, щоб визначити, чи відповідають зміщення координат, що контролюються, деградації мосту чи ефекту взаємодії транспортного засобу з мостом. Це

завдання було здійснено шляхом розробки системи зору для класифікації навантаження на міст за її співвідношенням з переміщенням його координат.

Навантаження транспортного засобу, що рухається по мосту, можна оцінити за допомогою методу BWIM (bridge weigh-in-motion), цей метод аналізує реакцію моста для оцінки ваги транспортного засобу на осі або групі осей [6] [17], в його елементах встановлюються вимірювачі натягу і їх оцінка базується на математичному аналізі згинальних моментів, яких зазнає міст у присутності різних транспортних засобів. Однак, згідно з Офіційним мексиканським стандартом NOM-012-SCT-2-2014 щодо маси та максимальних габаритів, з якими можуть пересуватися автотransпортні засоби, які рухаються по дорогах загального користування, їх вантажі можна класифікувати за своїм класом (автомобіль, автобус, одиничний вантажний автомобіль, причеп, зчленований тягач і подвійний зчленований тягач). На основі цієї класифікації було вирішено оцінити навантаження на міст з координатами його переміщення відповідно до відсотка зайнятості автомобільної смуги на мосту на момент вимірювання координат мосту.

Ця робота встановлює технічні та наукові основи класифікації транспортних засобів за зображеннями, отриманими за допомогою камери та обробленими за допомогою алгоритмів штучного інтелекту та обробки зображень, щоб створити прецеденти для майбутньої системи штучного зору з більш високою роздільною здатністю та її інтеграції в систему оптичного сканування.

Гіпотеза, яка дала початок проекту, стверджувала, що можна розробити систему зору для вимірювання динамічного навантаження, якій піддається міст, щоб співвіднести вплив зазначеного навантаження зі зміщенням координат індикатора в мосту. , щоб дізнатися, чи зазнала конструкція руйнування, чи вона знаходиться в ситуації ризику обвалення.

Система бачення, яка була розроблена та впроваджена, є загальною для лабораторних випробувань з метою розробки алгоритму, який дозволяє кількісно визначити навантаження на міст за допомогою цифрової обробки

зображень руху на мосту, доставити набір даних у вигляді продукту та / або дані в реальному часі коду навантаження за одиницю часу.

Загальна мета цієї дипломної роботи полягала в розробці системи зору для вимірювання динамічного навантаження транспортних засобів, які в даний момент часу проїжджають по мосту, щоб співвідноситися з переміщеннями координат мосту в цей момент часу.

В кваліфікаційній роботі були вирішені наступні задачі:

- Вибір контрольно-вимірювальної апаратури датчиків для збору даних при навантаження моста.
- Створення набору даних з різними варіантами навантаження мосту.
- Вибір і реалізація інтелектуального алгоритму та/або обробки зображень для автоматичної класифікації даних від датчика навантаження мосту.
- Оцінка параметрів, випадкове змішування даних для навчання та перевірки точності та точності алгоритму класифікації.
- Реалізація системи технічного бачення на платформі, що включає отримання даних про навантаження з мосту, його класифікацію, а також етап реагування для співвіднесення даних про навантаження мосту з координатами переміщення мосту.
- Визначення змінних середовищ, які можуть вплинути на результат роботи системи технічного бачення.
- Розрахунок точності та точності отриманих результатів.

3 ОГЛЯД ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПЕРЕВІРКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОСТІВ

3.1 Аналіз методів які базуються на системах розгортки

3.1.1 Система оптичного сканування для вимірювання зміщення

Запропонована система оптичного сканування для вимірювання зсуву виконує вимірювання просторових координат для оцінки зміщення значень координатних вимірювань і визначення того, чи відбулося просторове зміщення в контрольованих елементах конструкції. Його принцип роботи в основному заснований на апертурі оптико-електронного сканування, показаній на рис. 3.1, і методі динамічної триангуляції.

Систему можна налаштувати для виконання 2D або 3D вимірювань просторових координат. Навіть у базовій формі його можна налаштувати на вимірювання лише кутів. Систему оптичного сканування можна налаштувати на роботу з некогерентними джерелами світла або з когерентним джерелом світла, таким як лазер. Некогерентне світло зазвичай використовується для вимірювань на великій відстані (від 5 до 20 метрів), тоді як лазерне використовується для коротких і середніх відстаней (від 1 до 5 метрів).

3.1.2 Принцип апертури оптоелектронного сканування

Нижче описано принцип роботи оптико-електронного скануючого отвору та його основні частини. Він містить двигун постійного струму, який безперервно обертається з певною частотою в приблизному діапазоні від 20 до 60 Гц. На валу двигуна встановлена дискова пластина з еталонним виїмкою для вимірювання частоти обертання двигуна.

Коли положення виїмки диска збігається з положенням оптоперемикача, приймач може виявити сигнал, надісланий

випромінювачем, виробляючи імпульс при кожному оберті, як показано на рис. 3.2, де $T_{2\pi}$, виражений (3.1), відповідає час, необхідний для розгортки, а f відповідає частоті розгортки.

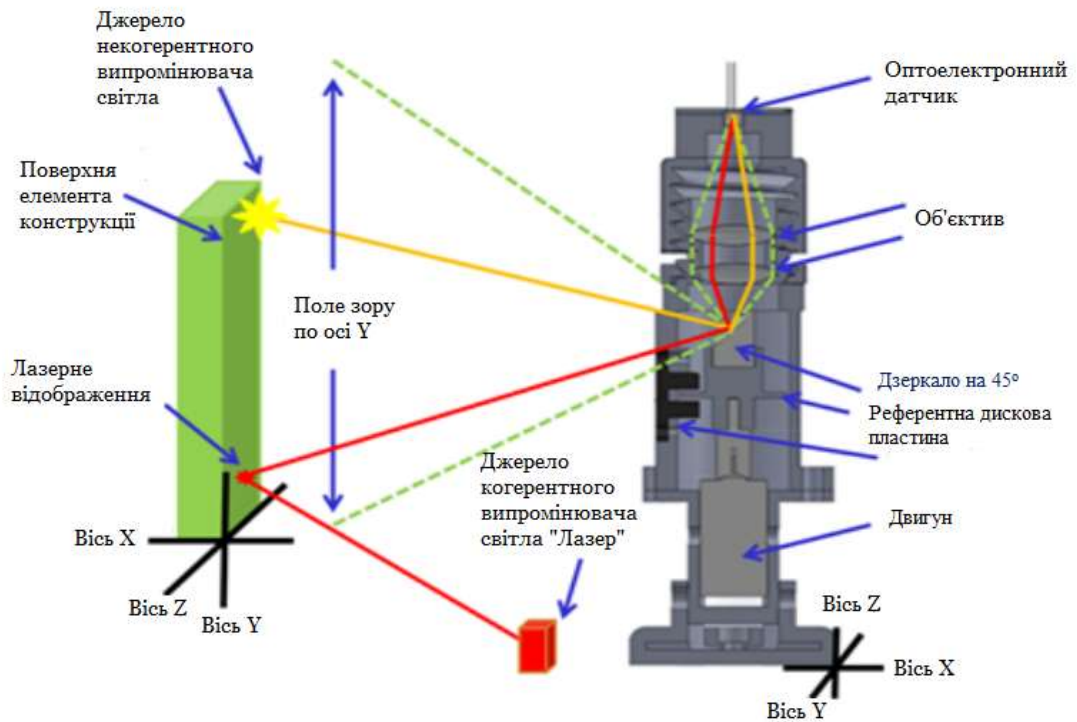


Рисунок 3.1 – Принцип роботи апертури оптико-електронного сканування

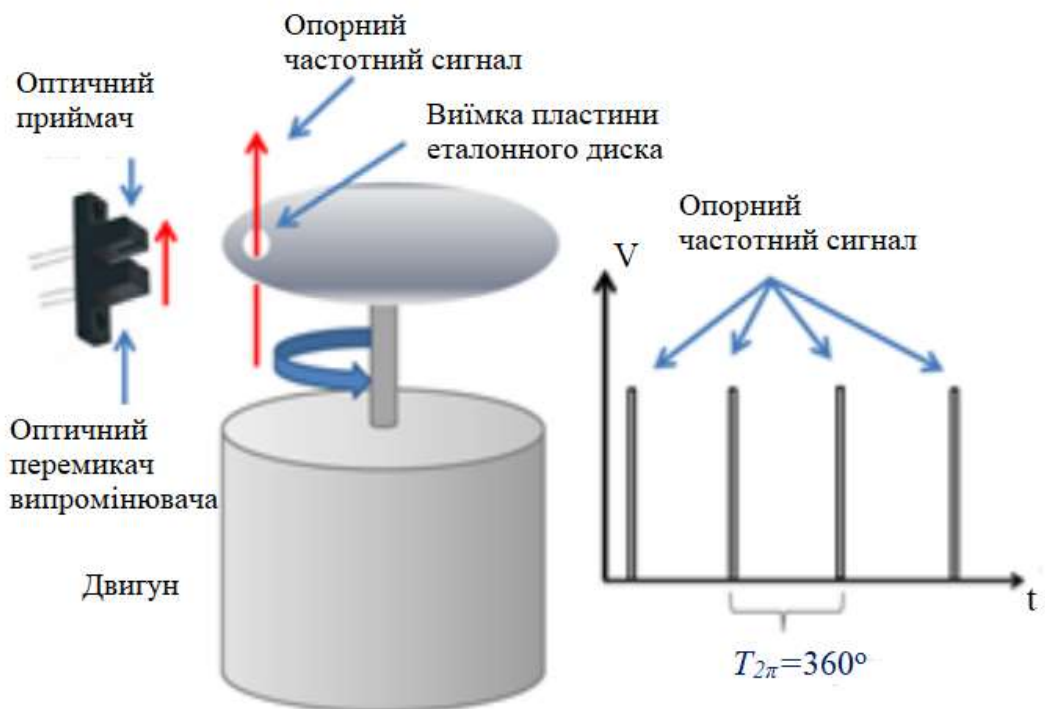


Рисунок 3.2 - Довідкова система для розрахунку частоти розгортки

$$T_{2\pi} = 2\pi / \omega = 2\pi / 2\pi f = 1/f \quad (3.1)$$

Оптичний шлях утворений дзеркалом на 45° , яке обертається разом з обертанням двигуна під час процесу сканування, щоб знайти світлові випромінювання і, відповідно до закону відбиття, відбиває його під кутом 90° через лінзи, які колімують випромінювання світла в оптоелектронний пристрій. Датчик, який перетворює світловий сигнал в оптико-електронний сигнал, як показано на рис. 3.3, де t_α - час між опорним сигналом і моментом сприйняття світлового випромінювання, а α - вимірювання кута, що використовується для обчислення вимірюваних координат за допомогою метод динамічної триангуляції.

$$\alpha = t_\alpha 2\pi f \quad (3.2)$$

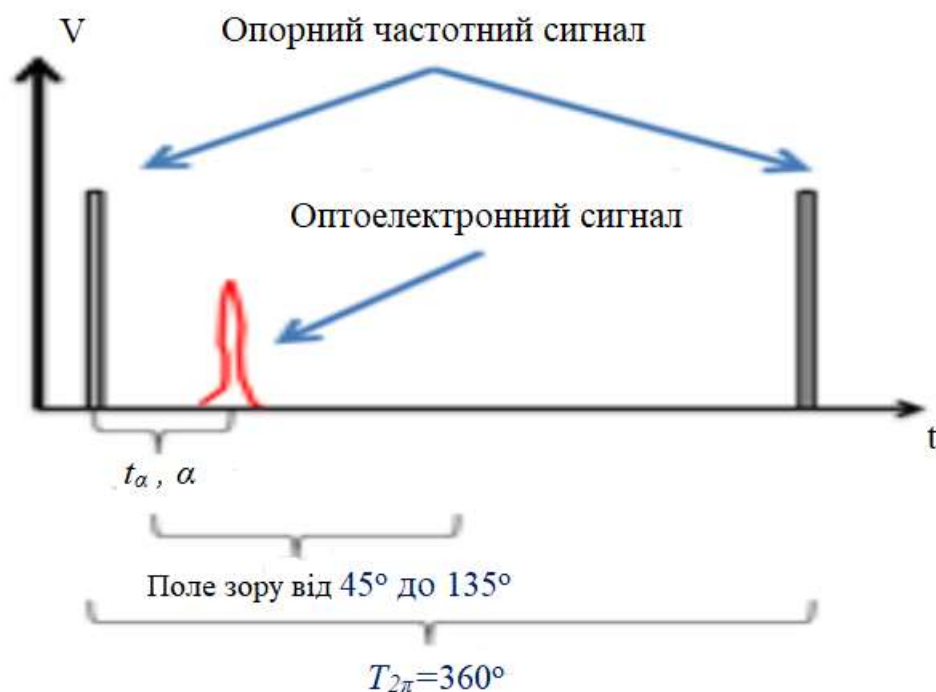


Рисунок 3.3 - Оптико-електронне представлення сигналу

Вибір оптоелектронного датчика та типу джерела світла для виявлення залежить від застосування, для якого налаштована система. Це включає міркування щодо умов робочого середовища, таких як джерела оптичного шуму [43], температура [44], освітлення чи темрява, відстані сприйняття та характеристики поверхні об'єкта. На основі цього вибору виходять різні типи схем оптико-електронної обробки сигналів і керування для умов процесу вимірювання [45], [46], [47]. Нижче описана найпоширеніша конфігурація для моніторингу здоров'я конструкції на коротких і великих відстанях.

Коротка відстань. Конфігурація системи оптичного сканування, яку також називають системою технічного зору (TVS), виявилася надійним варіантом у задачах SHM, представляючи баланс між точністю та робочим діапазоном на коротких відстанях (від 1 до 5 метрів). Однак він має обмеження для вимірювання тривимірних координат під більш широкими кутами; Завдяки відбивній здатності лазера інтенсивність, яку може отримати фотоелектричний датчик, залежить від відстані та кута випромінювання лазерного променя. Для коротких відстаней обмеження можна скоригувати шляхом реалізації стратегій машинного навчання за допомогою методів корекції вимірювань, але для великих відстаней фотоелектричний датчик не може сприймати відбитий лазерний сигнал [48].

Він структурований з лазерним позиціонером та оптико-електронною скануючою апертурою для отримання тривимірних координат за допомогою принципів динамічної лазерної триангуляції, як показано на рис. (3.4). Де координата (x, y, z) обчислюється за (3.3) – (3.6), [49].

$$x_{ij} = a \frac{\sin B_{ij} \cdot \sin C_{ij} \cdot \cos \sum_{j=1}^j \beta_j}{\sin[180^\circ - B_{ij} + C_{ij}]} \quad (3.3)$$

$$y_{ij} = a \left(\frac{1}{2} - \frac{\sin B_{ij} \cdot \cos C_{ij}}{\sin[180^\circ - B_{ij} + C_{ij}]} \right) \text{ at } B_{ij} \leq 90^\circ \quad (3.4)$$

$$y_{ij} = a \left(\frac{1}{2} + \frac{\sin B_{ij} \cdot \cos C_{ij}}{\sin[180^\circ - B_{ij} + C_{ij}]} \right) \text{ at } B_{ij} > 90^\circ \quad (3.5)$$

$$z_{ij} = a \frac{\sin B_{ij} \cdot \sin C_{ij} \cdot \tan \sum_{j=1}^j \beta_j}{\sin[180^\circ - B_{ij} + C_{ij}]} \quad (3.6)$$

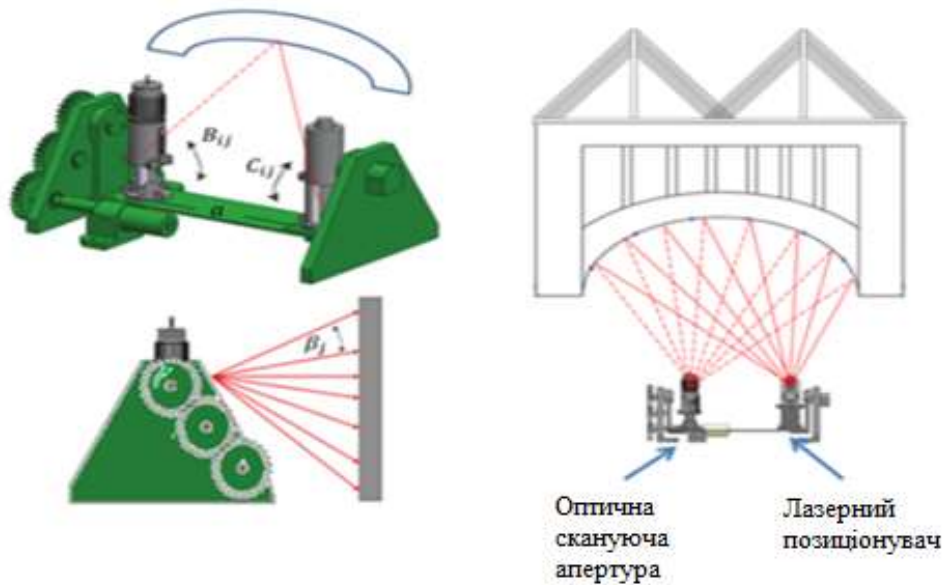


Рисунок 3.4 – Оптична система сканування для SHM на основі когерентного світлового випромінювання

Довга відстань. Ця конфігурація, відома як OSS (від абревіатури англійською), також виявилася надійним варіантом у задачах SHM, представляючи баланс між точністю та робочим діапазоном на великих відстанях (від 5 до 20 метрів) [2]. Однак його конструкція, зазвичай заснована на використанні фотодіода, має обмеження для вимірювання тривимірних координат в середовищах з оптичним шумом; особливо у зовнішньому середовищі з високою концентрацією сонячного світла, що призводить до насичення фотоелектричного датчика в приблизно денному діапазоні між 10:00 ранку та 6:00 вечора (у Мехікалі, Британська Колумбія, Мексика, де проводилися експерименти, місце, відоме у всьому світі як

місто, що полонило сонце) [50]. Після порівняння різних типів фотоелектричних датчиків, таких як фотодіоди, фототранзистори, світлодіод (LED) як приймач, інфрачервоний світлодіод як приймач і навіть світлозалежний резистор (LDR), було помічено, що за допомогою світлодіода як фотоелектричного датчика, особливо тих, які працюють в діапазоні довжин хвиль синього світла (427-476 нм) [43], можна відрізнити шум від сонячного світла, який підтримується цифровими фільтрами, такими як кінцева імпульсна характеристика (FIR) та фільтр Савицького-Голая, які дозволяють системі працювати в суворих умовах із світловим забрудненням [14]. Крім того, за допомогою обчислювальних методів, заснованих на класифікації шаблонів, таких як лінійний дискримінантний аналіз (LDA) і лінійна регресія (LR), можна класифікувати різні джерела світла, виявлені, щоб розрізнити ті, які не представляють інтересу [51].

На відміну від TVS, OSS має дві оптико-електронні сканувальні отвори, а не лазерний позиціонер і оптико-електронну скануючу апертуру. В якості індикаторів використовуються джерела світла. Джерела випромінювання світла розміщуються в різних точках конструкції, а потім обидві оптико-електронні скануючі апертури переглядають поле зору, забезпечуючи значення кутових вимірювань B_{ij} і C_{ij} у конкретній площині, визначеній β_j , щоб застосувати принцип динамічна триангуляція для обчислення координати (x, y, z) за (4.3)–(4.6), як показано на рис. (3.5).

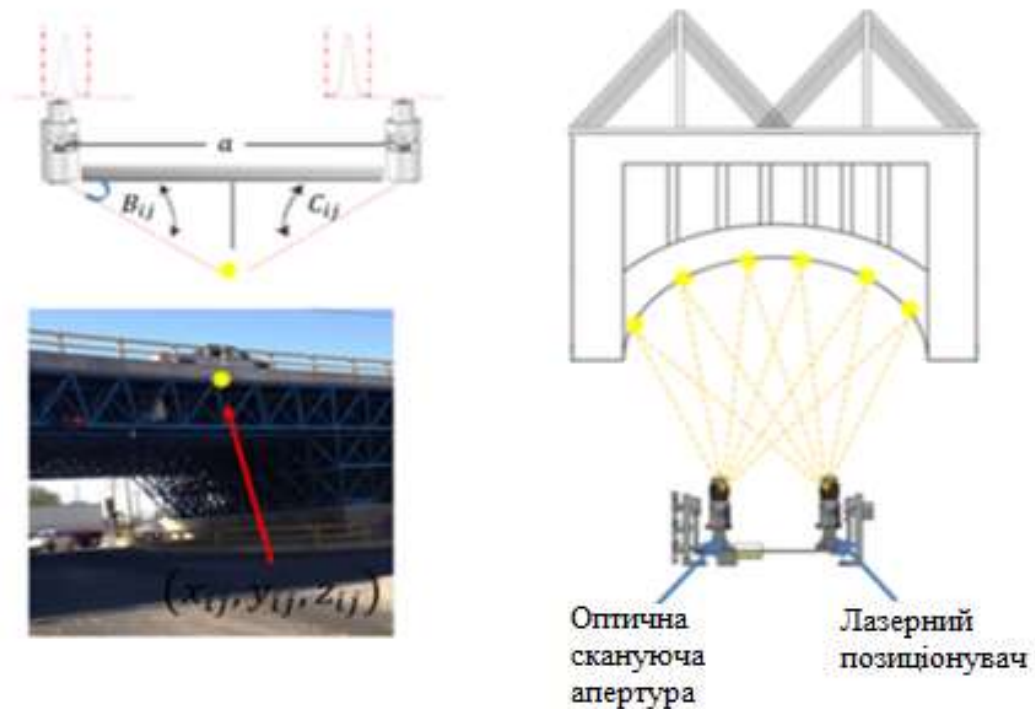


Рисунок 3.5 – Оптична система сканування для SHM на основі некогерентного світлового випромінювання

Одну або кілька систем OSS можна використовувати для моніторингу конструкцій у будь-якій з описаних конфігурацій, але в обох випадках, щоб застосовувати для моніторингу мостів SHM, їх потрібно доповнити системою, щоб знати навантаження на міст у певний момент, коли його просторові координати. Структурні конструкції вимірюються, щоб співвіднести зміщення мосту з ефектом взаємодії транспортного засобу та мосту.

3.2 Аналіз методів які базуються на кореляції даних двох вимірювальних систем

Моніторинг стану конструкції мостів відіграє важливу роль у запобіганні катастрофічних руйнувань. Однак кількісно визначити стан мостів через їх зношеність — завдання непросте, і хоча існують різні датчики

та системи (акселерометри, тензодатчики, системи оптичного сканування, лазерні системи, системи на основі волоконно-оптичних тощо), його застосування в певній структурі може вимагати або отримати вигоду від реалізації більш ніж одного типу датчика та/або системи.

Реалізація більш ніж одного типу датчиків та/або системи в моніторингу мосту може включати злиття або кореляцію даних від різних датчиків та/або систем. Нижче описані кореляційні методи, запропоновані для співвідношення навантаження моста з переміщенням його координат. Слід уточнити, що експериментальних результатів цієї кореляції не представлено, оскільки сферою даного дипломного проекту була розробка системи зору для класифікації навантаження на міст. Таким чином, щойно обидві системи запроваджені, одна для вимірювання переміщення та навантаження транспортного засобу, протягом тривалого періоду часу їх можна співвіднести та порівняти з «традиційними» інспекціями та оцінками, щоб визначити нормальну поведінку мосту та поведінка, яка вказує на те, що вона зазнає погіршення [66] [67].

3.2.1 Множина регресія / кореляція

Метод множинної регресії/кореляції (MRC) — це загальна система аналізу даних для вивчення взаємозв'язку двох або більше змінних. Це дуже гнучкий метод, який можна використовувати для аналізу зв'язків простих або складних, якісних або кількісних змінних, а також дозволяє включати методи боротьби з втраченими або пошкодженими (нетиповими) даними, вважається точним і універсальний метод, який можна застосовувати до різних типів даних із різних додатків.

Хоча його також можна використовувати для прогнозування, з метою прогнозування результату на основі даних, які були раніше зібрані під час процесу кореляції змінних. Однак у цьому розділі ми зосередимося на методах кореляції.

3.2.2 Кореляція двох змінних через коефіцієнт кореляції Пірсона

Коефіцієнт кореляції Пірсона є мірою лінійної залежності між двома кількісними випадковими величинами. На відміну від коваріації, кореляція Пірсона не залежить від шкали вимірювання змінних. Коефіцієнт кореляції Пірсона можна визначити як індекс для вимірювання ступеня зв'язку двох змінних, якщо обидві є кількісними та безперервними. Якщо зв'язок між елементами не є лінійною, то коефіцієнт представлений неправильно.

Коефіцієнт кореляції може приймати діапазон значень від +1 до -1. Значення 0 вказує на відсутність зв'язку між двома змінними. Значення більше 0 вказує на позитивну асоціацію. Тобто зі збільшенням значення однієї змінної зростає і значення іншої. Значення менше 0 вказує на негативну асоціацію; тобто при збільшенні значення однієї змінної значення іншої зменшується.

Однією з перших проблем, яку потрібно вирішити за допомогою індексу ступеня зв'язку між двома змінними, є проблема одиниці виміру. Оскільки дві змінні зазвичай виражаються в різних одиницях, потрібні певні засоби для перетворення балів у порівнянні одиниці вимірювання. Тобто шкала вимірювань повинна бути інтервальною або шкалою відношень. Змінні повинні бути приблизно розподілені. Асоціація повинна бути лінійною. У даних не повинно бути викидів. Однією з перших задач, які потрібно вирішити за допомогою індексу ступеня зв'язку між двома змінними, є одиниця вимірювання.

Оскільки дві змінні зазвичай виражаються в різних одиницях, потрібні певні засоби для перетворення балів у порівнянні одиниці вимірювання. Тобто шкала вимірювань повинна бути інтервальною або шкалою відношень. Змінні повинні бути приблизно розподілені. Асоціація повинна бути лінійною. У даних не повинно бути ніяких викидів.

Коефіцієнт кореляції Пірсона виражається через рівняння (3.7), де x дорівнює першій змінній і належить другій змінній, z_x — стандартне відхилення першої змінної, z_y — стандартне відхилення другої змінної, а N — це стандартне відхилення першої змінної. кількість даних. Тоді як його інтерпретація описана в таблиці (4.2).

$$r_{xy} = \frac{\sum z_x z_y}{N} \quad (3.7)$$

Таблиця 3.2 - Інтерпретація коефіцієнта Пірсона

Критерій	Інтерпретація
Кореляція менше нуля	Якщо кореляція менша за нуль, це означає, що вона від'ємна, тобто змінні обернено пов'язані. Коли значення однієї змінної високе, значення іншої змінної є низьким. Чим воно ближче до -1, тим чіткіше крайня коваріація. якщо коефіцієнт дорівнює -1, ми маємо на увазі ідеальну негативну кореляцію.
Кореляція більша за нуль	Якщо кореляція дорівнює +1, це означає, що вона абсолютно позитивна. У цьому випадку це означає, що кореляція позитивна, тобто що змінні прямо корелюють. Коли значення однієї змінної високе, значення іншої також високе, те ж саме відбувається, коли вони низькі. Якщо він близький до +1, коефіцієнт буде коваріаційним.
Кореляція дорівнює нулю	Коли кореляція дорівнює нулю, це означає, що неможливо визначити деякий сенс коваріації. Однак це не означає, що між змінними немає нелінійного зв'язку. Коли змінні незалежні, це означає, що вони корелюють, але це не означає, що це правда.

3.2.3 Кореляція двох змінних через коефіцієнт кореляції Спірмена

Кореляція Спірмена оцінює монотонний зв'язок між двома неперервними або порядковими змінними. У монотонних відносинах змінні мають тенденцію змінюватися одночасно, але не обов'язково з постійною

швидкістю. Коефіцієнт кореляції Спірмена базується на ранжованих значеннях кожної змінної, а не на вихідних даних. Кореляція Спірмена часто використовується для оцінки зв'язків, що включають порядкові змінні.

Коефіцієнт кореляції Спірмена є непараметричною мірою рангової кореляції (статистична залежність рейтингу між двома змінними). Вимірює силу і напрям зв'язку між двома класифікованими змінними. Він розраховується за допомогою рівняння (3.8), де n – кількість точок даних двох змінних, d_i – різниця діапазону елемента n .

$$r_R = 1 - \frac{6 \sum_i d_i}{n(n^2-1)} \quad (3.8)$$

Коефіцієнт Спірмена може приймати значення від +1 до -1, де значення +1 означає ідеальний зв'язок діапазону, значення 0 означає відсутність зв'язку діапазонів, значення -1 означає ідеальний негативний зв'язок між діапазонами. Якщо значення наближається до 0, зв'язок між двома діапазонами слабша. Важливо відзначити, що якщо одна змінна збільшується, інша переходить у монотонну залежність.

3.2.4 Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена

Значення коефіцієнтів кореляції Пірсона і Спірмена може змінюватися від -1 до +1. Щоб коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнював +1, коли одна змінна збільшується, інша змінна збільшується на постійну величину. Ці відносини утворюють ідеальну лінію. Коефіцієнт кореляції Спірмена в цьому випадку також дорівнює +1, див. рисунок (3.6).



Рисунок 3.6 - Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Пірсон = +1,
Спірмен = +1)

Якщо зв'язок полягає в тому, що одна змінна збільшується разом із збільшенням іншої, але кількість не є узгодженою, коефіцієнт кореляції Пірсона додатний, але менший за +1. Коефіцієнт Спірмена в цьому випадку залишається рівним +1, див. рисунок (3.7).

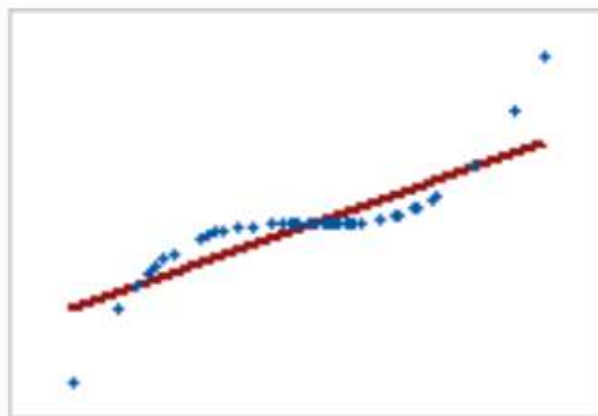


Рисунок 3.7 – Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Пірсон = +0,851,
Спірмен = +1)

Коли зв'язок є випадковою або не існує, тоді обидва коефіцієнти кореляції майже дорівнюють нулю, див. рисунок (3.8).

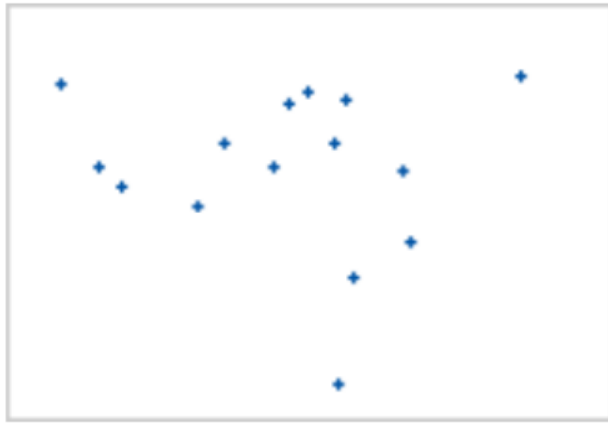


Рисунок 3.8 – Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Пірсон = $-0,093$,
Спірмен = $-0,093$)

Якщо зв'язок є ідеальною лінією для спадного зв'язку, тоді обидва коефіцієнти кореляції дорівнюють -1 , див. рисунок (3.9)

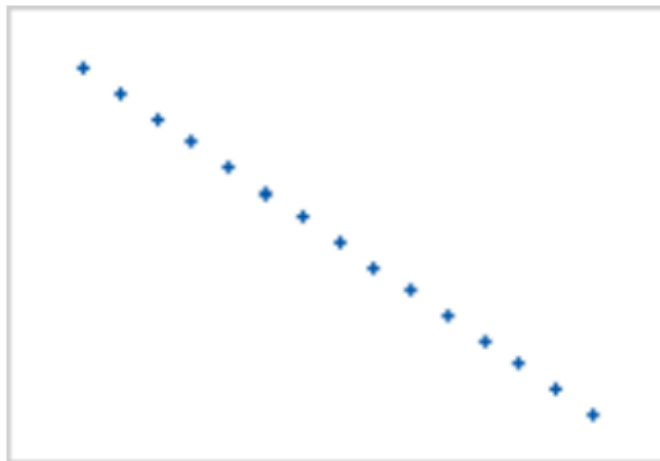


Рисунок 3.9 – Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Пірсон = -1 ,
Спірмен = -1)

Якщо зв'язок полягає в тому, що одна змінна зменшується зі збільшенням іншої, але величина не є узгодженою, то коефіцієнт кореляції Пірсона від'ємний, але більший за -1 . У цьому випадку коефіцієнт Спірмена залишається рівним -1 , див. рисунок (3.10).

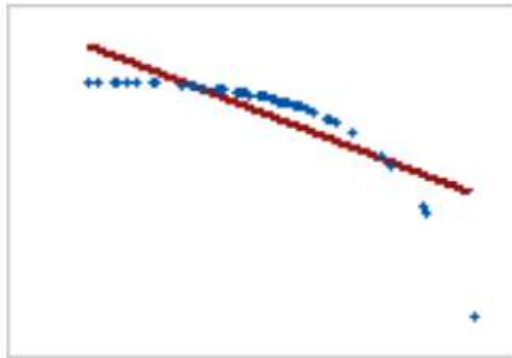


Рисунок 3.10 – Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Пірсон = $-0,799$, Спірмен = -1)

Значення кореляції -1 або 1 означають точну лінійну залежність, наприклад, між радіусом і окружністю кола. Однак справжня цінність значень кореляції полягає в кількісній оцінці відносин, які є менш ідеальними. Виявлення того, що дві змінні корелюють, часто корисно для регресійного аналізу, який намагається описати цей тип зв'язку більш детально.

Коефіцієнти кореляції Пірсона вимірюють лише лінійні співвідношення. Коефіцієнти кореляції Спірмена вимірюють лише монотонні відносини. Таким чином, значний зв'язок може існувати, навіть якщо коефіцієнти кореляції дорівнюють 0 , див. рисунок (3.11), де він показує дуже сильний зв'язок. Коефіцієнти Пірсона і Спірмена приблизно дорівнюють 0 .

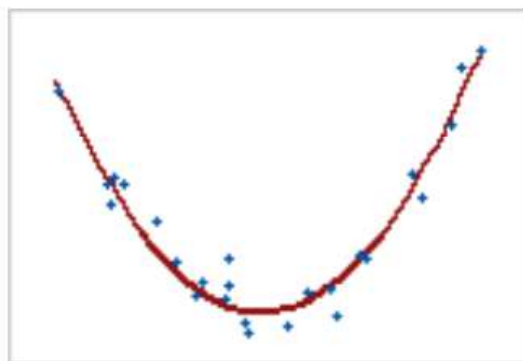


Рисунок 3.11 - Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Коефіцієнти 0)

4 МЕТОДОЛОГІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ НАВАНТАЖЕННЯ МОСТУ ШЛЯХОМ ОЦІНКИ КОРЕЛЯЦІЇ ЗІ ЗМІЩЕННЯМ КООРДИНАТ ПРИ ЙОГО ДЕФОРМАЦІЇ

4.1 Оцінка взаємодії транспортного засобу з мостом

Оглядаючи пошкодження моста висновок робляться з аналізу даних, отриманих від подій VBI, наприклад, при використанні реакції прискорення, де аналіз частоти та амплітуди вібраційних даних використовується для виявлення локальних пошкоджень тріщин [52]. Але в інших випадках дані події VBI співвідносяться з іншими вимірюваннями моста, як у [53], де метод клина використовується для вимірювання збудження імпульсу VBI, який буде корелювати з реакцією прискорення моста. Або як у [54] та [55], де положення транспортних навантажень та історія навантаження враховуються під час процесу кореляції з вертикальним рухом мосту. Оскільки транспортне навантаження на мости є важливим параметром у задачах SHM, у [56] проведено огляд та класифікацію статей, присвячених методам моніторингу здоров'я на основі класифікації транспортних засобів на мостах, з яких визначено класифікацію на основі систем зору. Методи на основі зору вважаються застосуванням технології розумного зондування в SHM. Вони сумісні з розумними і роботизованими датчиками, цифровими камерами, смартфонами, безпілотними літальними апаратами (дронами) і обчислювальними алгоритмами. Навантаження можна було виявити за допомогою фіксованого датчика, через зону моніторингу, через глобальний огляд або гібрид цих методів. Попередня робота, найбільш пов'язана з розробкою цієї статті, знайдена в [57], де запропоновано метод SHM для мостів, заснований на кореляції двох систем (камер), що базуються на зорі, однієї для виявлення навантаження транспортного засобу, а іншої для

зміщення мосту, для детального огляду систем моніторингу мосту на основі зору див. [13].

4.2 Обчислювальні моделі як класифікатори навантаження мостів для оцінки взаємодії місту і транспортного засібу

Розроблено різні методи виявлення транспортних засобів у відеоданих з камер зовнішнього спостереження, більшість з них для оцінки розподілу швидкості та щільності транспортних засобів, а інші для відстеження проїзду транспортних засобів.

При розробці системи на основі технічного зору, запропонованої для кореляції з тривимірними переміщеннями координат мосту, були досліджені різні підходи для вибору відповідного методу для розробки класифікатора навантаження на міст.

Класифікація навантаження на міст за допомогою обробки зображень із даних відео дорожнього руху вимагає алгоритмів комп'ютерного зору для вилучення інформації про транспортний засіб, виявленої у відеокадрах, а також процес вибору найкращого положення камери для різних сценаріїв пов'язаний з вибором підходу до обробки зображень для зазначеного набору даних для створення конкретної програми моніторингу. Для додатків, де потрібна інформація в режимі реального часу, ефективні та недорогі методи обробки зображень постійно розробляються, і потрібна надійна продуктивність у мінливих умовах навколишнього середовища.

У пошуках надійного алгоритму з продуктивністю в мінливих умовах середовища було обрано два підходи для виконання цього завдання. Підхід, заснований на самонавчанні, за допомогою машинного навчання за допомогою алгоритму, який використовує «Великі дані», який є найсучаснішим, глибоке навчання нейронних мереж (Deep Learning), а також другий класичний і простий підхід на основі реєстрацію зображень, без

підходу машинного навчання і, безумовно, з дуже низькою вартістю обчислень.

4.2.1 Глибоке навчання для класифікації навантажень моста

Все більше дослідників намагаються використовувати переваги методів глибокого навчання в різних додатках. Щодня розробляються нові моделі нейронних мереж глибокого навчання, щоб покращити розуміння взаємозв'язку нелінійних багатовимірних елементів у зображеннях, насамперед для цілей класифікації.

Уся ця розробка надає потенційно корисний інструмент, який може автоматизувати класифікацію навантаження на міст [58].

Нейронна мережа – це математична модель, натхненна нейрофізіологічними моделями, які описують функції людського мозку через мільярди нейронів, розташованих в ієрархічній структурі з шести різних шарів у корі людини, пов'язаних з іншими нейронами, які передають, обробляють і зберігають за допомогою синапсів. зв'язки в нейронах постійні в процесах пластичності для навчання. Кодування синапсу та спрощені процеси нейронної пластичності є основою для формулювання математичної моделі нейронної мережі, вираженої (4.1) – (4.2) для кожного нейрона, де $x_i = 1:n$ – кожен нейрон. один з n нейронних вхідних даних, $w_i = 1:n$ їх відповідні синаптичні ваги, і ξ зважена сума нейронних вхідних даних. Хоча y — вихід нейрона після того, як функція активації σ оцінюється як ξ .

$$\xi = \sum_{n=1}^i w_i x_i \quad (4.1)$$

$$y = \sigma(\xi) \quad (4.2)$$

Правильний вибір σ визначає можливості зближення нейронної мережі для досягнення точності та ефективності. Найпоширенішими функціями

активації є двійковий крок, який регулюється h (4.3), лінійна функція (4.4), де c є константою, і нелінійні функції активації, такі як випрямлена гіперболічна дотична лінійна сигмовидна одиниця (ReLU), нещільна ReLU, Parametric ReLU, Softmax і Swish, останній виражається в (4.5) з найвищою точністю класифікації відповідно до [44].

$$\sigma(\xi) = \begin{cases} 0 & \text{if } \xi < h \\ 1 & \text{if } \xi \geq h \end{cases} \quad (4.3)$$

$$\sigma(\xi) = c(\xi) \quad (4.4)$$

$$\sigma(\xi) = \xi / (1 + e^{-\xi}) \quad (4.5)$$

Архітектура нейронної мережі визначається кількістю нейронів та їх взаємозв'язком (вхідний, прихований і вихідний шари). Саме в прихованих шарах поширюються сигнали, встановлюючи стан нейронів і вагу взаємозв'язків, які визначають конфігурацію нейронної мережі. Найпопулярнішою є нейронна мережа з прямим зв'язком (NN), де вихідні дані одного шару використовуються як вхідні дані для наступного шару; Рекурентні нейронні мережі (RNN), де вихідні дані шару повертаються циклічно, цей процес може створити «короткострокову пам'ять» або «довгострокову пам'ять», також відому як зворотне поширення; згорткові нейронні мережі (CNN), де три шари виконують три різні завдання, згорткові (вхідні дані аналізуються за допомогою фільтрів для створення карти об'єктів), групування, відоме як «об'єднання» (розмір карти ознак зменшено) і повністю пов'язаний, відомий як повністю зв'язаний (зрівнює карти разом і порівнює ймовірності того, що кожна об'єкт зустрічається разом з іншими, доки не буде визначено найкращу класифікацію). Усі ці багат шарові конфігурації, глибокі нейронні мережі (DNN), визначаються як моделі глибокого навчання, що виражаються гіперпараметрами, кількістю

прихованих шарів, функцією активації та кількістю разів (епохами) навчання має бути повторено.

DNN зазвичай має від 2 до 8 додаткових шарів нейронів. Різні типи нейронних мереж є ядром глибокого навчання, нейронної мережі, точність якої збільшується із збільшенням кількості прихованих шарів. Цей процес перетворює нейронну мережу в глибоку нейронну мережу, яку також називають підходом глибокого навчання. Порівняння традиційних нейронних мереж з новими нейронними мережами, особливо для задачі, постульованої в цій роботі, яка складається з класифікації зображень, пов'язане з ефективністю процесів, кореляцією та розумінням великої кількості даних у високій роздільній здатності. Зображення їх роздільна здатність для спрощення, виділення ознак та класифікація. Нові пропозиції щодо структур нейронних мереж розвиваються для вирішення проблем, наявних у традиційних нейронних мережах, таких як переобладнання параметрів, що створює складні моделі, які важко налагодити та налаштувати через інтенсивні обчислювальні вимоги. Основна відмінність традиційних нейронних мереж полягає в тому, що вони засновані на повністю підключеній архітектурі, тоді як у нових нейронних мережах нейрони в одному шарі не підключаються до всіх нейронів наступного.

4.2.2 Процес реєстрації зображення

Реєстрація зображень є класичним методом [59], який продовжує існувати в сучасних умовах і використовується для різних застосувань на основі підходів до обробки зображень [60], деякі приклади: обробка зображень для аналізу тіла та медичної діагностики [61], видалення фону зображення [62], реконструкція 2D та 3D моделей [63], виявлення та відстеження рухомих об'єктів [64], як у пропонованій роботі.

Кожен раз, коли необхідно порівняти два або більше зображень з різних джерел, часу або точки зору, можна застосувати методи реєстрації

зображень. Іноді для усунення варіацій зображення, іноді для визначення цілі на зображенні або для порівняння двох зображень нерухомої сцени.

Для пошуку стратегії для отримання задовільних результатів були розроблені різні методи реєстрації зображень, у більшості випадків кожен метод був розроблений для конкретного застосування. Однак більшість методів включають виявлення ознак, узгодження ознак, оцінку моделі перетворення, повторну вибірку та перетворення зображення.

Коли два зображення потрібно порівняти, їх потрібно вирівняти, щоб виявити їх відмінності, тому потрібно перетворення, щоб узгодити точки на першому зображенні з відповідними точками на другому зображенні. Ці зображення, як правило, багаточасові, і їх мета полягає в тому, щоб знайти й оцінити зміни в сцені між двома зображеннями. Варіації визначаються за різницею значень (інтенсивності) і розташуванням пікселів.

Реєстрацію зображення можна визначити як процес перетворення для вирівнювання зображень за певною системою координат. В результаті створюється відображення між двома зображеннями, щоб зв'язати їх відмінності в просторі та інтенсивності. Зображення виражаються у вигляді двовимірних матриць, позначених $I_1(x, y)$ та $I_2(x, y)$, пов'язаних (4.6), де f – перетворення 2D просторових координат для відображення вихідної координати (x, y) у нова просторова координата (x', y') , як зазначено в (4.7), тоді як g є одновимірним перетворенням інтенсивності, щоб виявити різницю між зображеннями через процес реєстрації.

$$I_2(x, y) = g(I_1(f(x, y))) \quad (4.6)$$

$$(x', y') = f(x, y) \quad (4.7)$$

Основними параметрами будь-якого методу реєстрації зображень є параметри, пов'язані з підходом просторового перетворення, наприклад жорсткий, афінний, проєктивний та глобальний поліном. Звідки

найпоширенішим є афінне перетворення (яке включає декартові операції перекладу, обертання, масштабування, розтягування та зсуву), лінійне перетворення t_x , виражене (4.9), і t_y , виражене (4.10), щоб узгодити два зображення сцени, відображаючи точку (x, y) на першому зображенні в точку (x', y') на другому зображенні, як це виражено в (4.8) і (4.11).

$$t_x = t(x, x') = t(x) + t(x') \quad (4.8)$$

$$t_y = t(y, y') = t(y) + t(y') \quad (4.9)$$

$$x' = t_x(x, y) \quad (4.10)$$

$$y' = t_y(x, y) \quad (4.11)$$

Тоді афінне перетворення може бути виражено (4.12), де S — параметр масштабу, $\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$ — матриця обертання, і $\begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}$ — вектор трансляції. Крім того, він може бути виражений за допомогою (4.13) як загальна двовимірна форма, або у формі, вираженій у (4.14), за допомогою використання однорідних координат. Розглянуто такі геометричні перетворення: трансляція, обертання, масштабування, розтягування та розрізання, афінне перетворення має шість параметрів, θ_2 і θ_5 для трансляції, θ_0 для обертання агрегату, θ_1 для масштабування, θ_3 для розтягування і θ_5 для зсуву [65].

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_0 & \theta_1 & \theta_2 \\ \theta_3 & \theta_4 & \theta_5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

4.3 Розробка класифікатору навантажень мосту

Для описаної мети був розроблений класифікатор навантажень моста, заснований на підході глибокого навчання, з архітектурою, описаною в таблиці 4.1, використаний набір даних був розділений на 80% для процедури навчання та 20% для тесту, тоді як навчання було розділено на 80% навчання і 20% підтвердження між сезонами. Спочатку найкраща конфігурація пози камери спостереження була оцінена за допомогою Autos зі Стенфордського набору даних [68], який надає зображення різних типів транспортних засобів у різних середовищах з різними орієнтаціями; де були визначені чотири класи, вид спереду, вид ззаду, вид збоку та кутовий огляд, з цієї початкової оцінки з чотирма класами було помічено, що чим більшу площу охоплює транспортний засіб, тим кращі результати точності [69]. Отже, п'ятий клас із видом зверху був доданий персоналізованими зображеннями, отриманими в місті Мехікалі, Нижня Каліфорнія, Мексика. Стенфордський автомобільний набір даних спочатку містить 16 185 зображень 196 класів транспортних засобів. Дані розділені на 8 144 навчальних зображення та 8 041 тестове зображення, де кожен клас був приблизно розділений на 50-50. Заняття зазвичай проводяться на рівні марки, моделі, року, р. Наприклад, "Tesla Model S 2012 або BMW M3 coupe 2012". Однак для цього експерименту він був перекласифікований відповідно до класового вигляду транспортного засобу (вид спереду, вид ззаду, вид збоку та вигляд під нахилом) і був доповнений новим виглядом класу з більшою площею (вид зверху), як показано в таблиці (4.2). Зауважте, що 15 935 зображень було отримано з набору даних Stanford CARS, тоді як 250 зображень було дискриміновано, оскільки вони не вписуються ні в один клас.

Таблиця 4.1 – Вихідна форма структури моделі CNN

Тип шару	Вихідна форма
Conv2D	(None, 100, 100, 32)
LeakyReLU	(None, 100, 100, 32)
MaxPooling	(None, 50, 50, 32)
Dropout	(None, 50, 50, 32)
Flatten	(None, 80000)
Dense	(None, 32)
LeakyReLU	(None, 32)
Dropout	(None, 32)
Dense	(None, 5)

Таблиця 4.2 – Опис набору даних

Позначка класу	Опис	Приклад перегляду класу 1	Приклад перегляду класу 2	Приклад перегляду класу 3	Кількість зображень
1 клас	Вид спереду				733
2 клас	Вид з заду				275
3 клас	Вид збоку				1.020
4 клас	Вид нахилу				13.907
5 клас	Вид зверху				250

Оскільки зображення відповідають різним середовищам, кожне зображення має різні співвідношення сторін, що вимагає попередньої обробки, щоб змінити розмір до 100 пікселів у ширину та 100 пікселів у висоту, із звичайним режимом кадрування (фокусування з середньою вагою для кадрування). Архітектура алгоритму глибокого навчання була розроблена на Python за допомогою бібліотеки Keras, яка працює на TensorFlow з використанням загальної блок-схеми, показаної на рис 4.1. Досягнута точність навчання, перевірки та тестування становила 88,32%, 89,41% і 87,96% відповідно, тоді як показники класів наведені в таблиці 3, де точність (P), відновлення (R) і бали F (F). Обчислено за (4.15) - (4.17). Де точність – це здатність моделі визначати релевантність, – відсоток правильних позитивних прогнозів, TP – істинне передбачення, а FP – хибне передбачення. Відновлення — це відсоток справжніх позитивних результатів, виявлених серед усіх відповідних фундаментальних істин, FN — це непередбачувана фундаментальна істина. F-показник – це лінійна комбінація точності та відкликання, яка має єдине значення продуктивності для класифікації методів.

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4.15)$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4.16)$$

$$F = 2X \frac{P * R}{P + R} \quad (4.17)$$

Таблиця 4.3 – Показники класу

Клас	Точність	Повтор	F-оцінка
1.	0,88	0,15	0,26
2.	0,00	0,00	0,00
3.	0,86	0,20	0,32
4.	0,89	1,00	0,94
5.	0,92	1,00	0,98

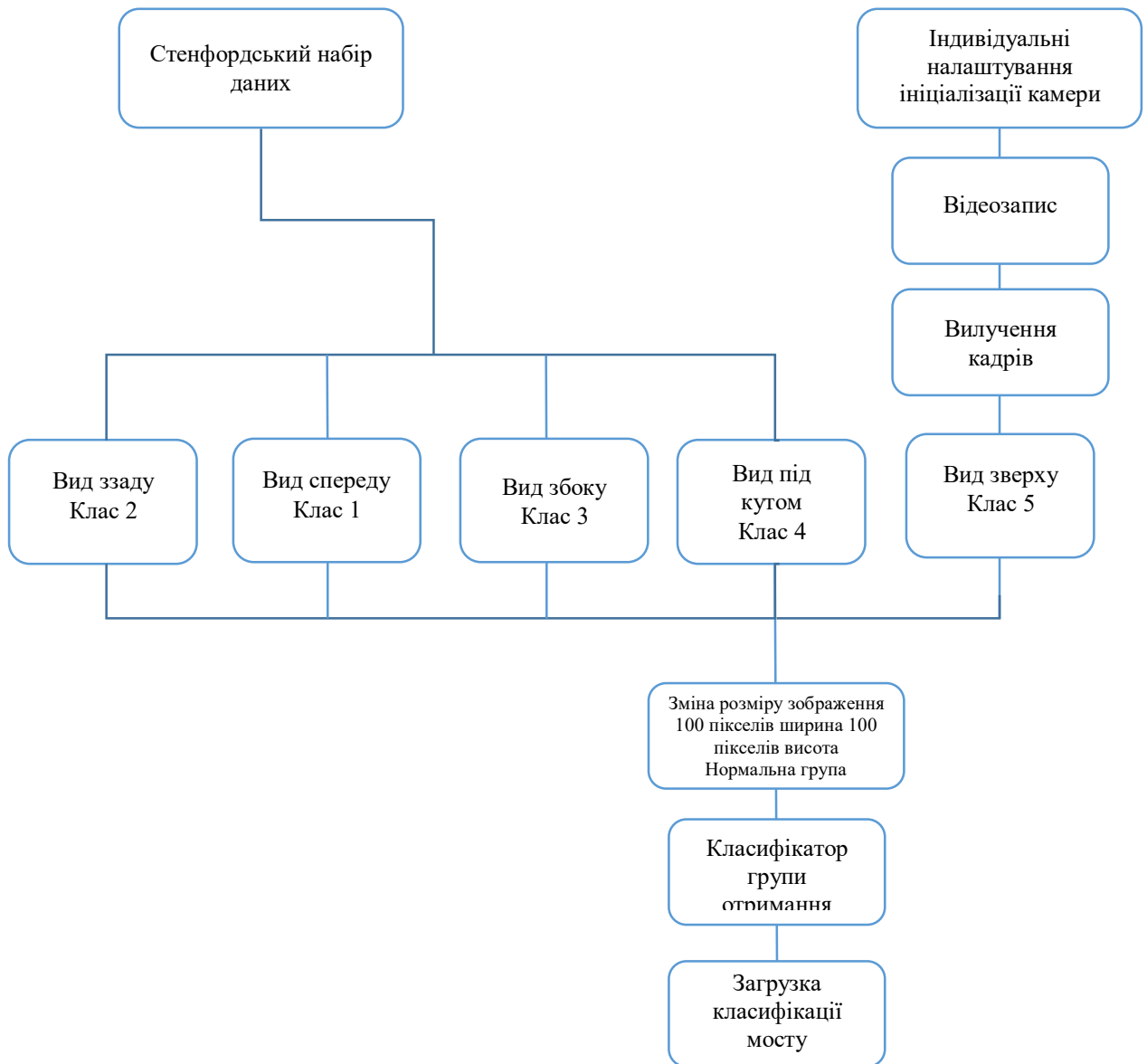


Рисунок 4.1 - Загальна схема процесу глибокого навчання

В роботі розглянуто класифікатор навантаження на основі глибокого навчання. Використовуючи глибоке навчання, функції можна автоматично витягувати з попередньо оброблених даних. Структура спроектованої глибокої мережі та продуктивність запропонованого методу оцінювалися на основі комбінації наявних та отриманих на замовлення даних, зібраних у новому наборі даних.

Для запропонованого підходу комп'ютерного зору розроблена модель може класифікувати зображення з відеоданих відповідно до відсотка завантаженості транспортним засобом на смузі шосе мосту. Припустимо, що камера нерухома. Він спрямований на виявлення транспортного засобу як

об'єкта та обчислення відсотка зайнятості певної ділянки смуги виявленим транспортним засобом. Початковий кадр без рухомих об'єктів вибирається для відображення нерухомого фону, щоб пізніше записати зображення з рухомим кадром, щоб визначити їх відмінності та обчислити кількість пікселів, які змінилися від нерухомого кадру до рухомого кадру, як описано на рис. 4.2. Сорок вісім зображень траєкторії транспортного засобу через ділянку смуги руху, що цікавить, було оцінено зі 100% точністю, звідки було вилучено два зображення кожного класу, щоб показати результати в таблиці 4.4.

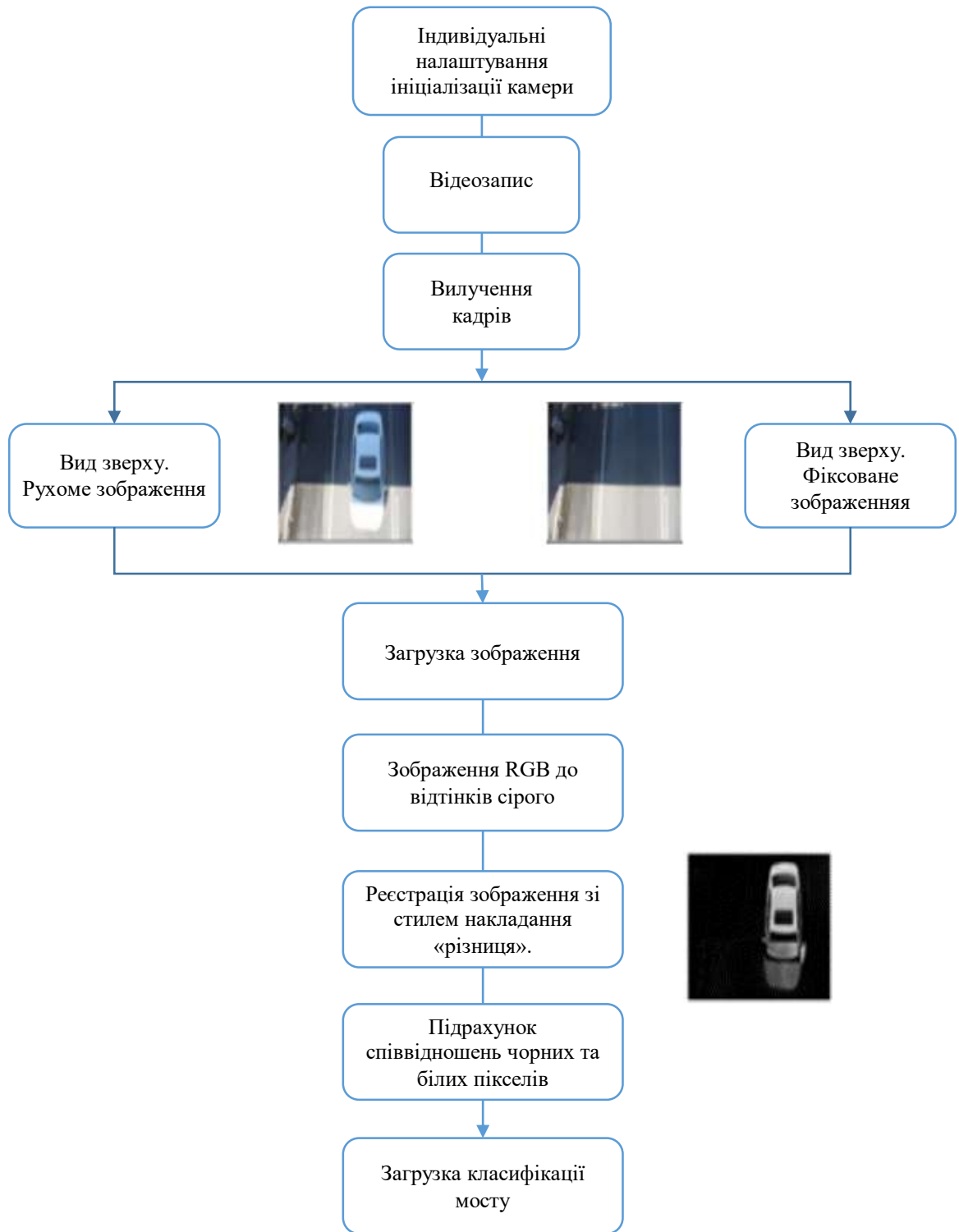


























Рисунок 4.2 - Загальна блок-схема реєстрації зображення

Таблиця 4.4 - Результати реєстрації зображення

Категорія класу	Приклад оригінального зображення 1	Приклад чорно-білого зображення 1	Приклад оригінального зображення 2	Чорно-біле зображення, приклад 2
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
5.				

Для самоінтеграції моделі, розробленої в будь-якому середовищі, в якості майбутньої роботи необхідно розробити алгоритм для автоматичного аналізу сегмента відео, щоб витягти з його кадрів рухомі об'єкти, які будуть сегментовані з фону, щоб визначити нерухоме зображення щоб запусити розроблену модель.

ВИСНОВКИ

Для виконання завдань моніторингу працездатності мостів, розуміння статичної нестабільності мостів через їх взаємодію з транспортними засобами є обов'язковим, навантаження на міст, що є дуже актуальним параметром у співвідношенні з вимірюванням точкового зсуву мосту. **Вимірювання динамічного навантаження транспортних засобів, які в даний момент часу проїжджають по мосту, щоб співвідноситися з переміщеннями координат мосту в цей момент часу, тобто оцінка кореляції зі зміщенням координат мосту при його деформації.** Оцінка цієї кореляції необхідна, щоб перевірити, чи спостережуваний зсув мосту пов'язаний з характером його експлуатації чи через його структурні пошкодження.

Метод безперервного моніторингу стану конструкції мостів на основі системи безконтактного оптичного сканування, що використовується для вимірювання вибраних просторових координат на конструкції при розрахунку зміщення вибраних конструктивних координат за безперервний час, і розрахунки навантаження на запропонований міст.

В роботі було розроблено два методи класифікатора навантаження на мости, один з яких базується на глибокому навчанні для класифікації різних транспортних засобів із різним налаштованим спостереженням, з недоліком, пов'язаним із підходом глибокого навчання, пов'язаним із великими даними, необхідними для навчання моделі; і проста модель, заснована на реєстрації зображення для фіксованої камери зверху, щоб класифікувати відсоток заповнюваності визначеної ділянки смуги шосе. Обидва підходи розроблені для їх порівняння та вибору одного з них, який найкраще підходить для відеоспостереження, нового або вже встановленого в кожній мостовій конструкції, що контролюється. Методи не залежать від таких параметрів руху, як вага, навантаження на вісь, конфігурація осі, напрямок або швидкість транспортного засобу; вони залежать лише від положення транспортного засобу на мосту. Майбутня робота повинна бути зосереджена

на пошуку більш ефективних і менш дорогих методів обробки зображень із надійною продуктивністю в умовах великого транспортного навантаження та різноманітних умов навколишнього середовища, а також на розробці методології кореляційного аналізу.

В кваліфікаційній роботі були вирішені наступні задачі:

- Вибір контрольно-вимірювальної апаратури датчиків для збору даних при навантаження моста.
- Створення набору даних з різними варіантами навантаження мосту.
- Вибір і реалізація інтелектуального алгоритму та/або обробки зображень для автоматичної класифікації даних від датчика навантаження мосту.
- Оцінка параметрів, випадкове змішування даних для навчання та перевірки точності та точності алгоритму класифікації.
- Реалізація системи технічного бачення на платформі, що включає отримання даних про навантаження з мосту, його класифікацію, а також етап реагування для співвіднесення даних про навантаження мосту з координатами переміщення мосту.
- Визначення змінних середовищ, які можуть вплинути на результат роботи системи технічного бачення.
- Розрахунок точності та точності отриманих результатів.
- Публікація результатів у тезах на конференціях Молодіжного форуму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. L Ma, W Zhang, WS Han, and JX Liu. Determining the dynamic amplification factor of multi-span continuous box girder bridges in highways using vehicle-bridge interaction analyses. *Engineering Structures*, 181:47–59, 2019.
2. Kai-Yuen Wong. Instrumentation and health monitoring of cable-supported bridges. *Structural control and health monitoring*, 11(2):91–124, 2004.
3. Kenji Aono, Hassene Hasni, Owen Pochettino, Nizar Lajnef, and Shantanu Chakrabartty. Quasi-self-powered piezo-floating-gate sensing technology for continuous monitoring of large-scale bridges. *Frontiers in Built Environment*, 5-29, 2019.
4. Eser Çaktı and Erdal ,Safak. Structural health monitoring: Lessons learned. In *Seismic isolation, structural health monitoring, and performance based seismic design in earthquake engineering*, pages 145–164. Springer, 2019.
5. Monika Wasilewska and Bartomiej Golenko. Convolutional neural network based vehicle classification. pages 291–295, 09 2019.
6. Alberto Asensio López, Álvaro Duque de Quevedo, Francisco Salmerón Yuste, Jesús Muñoz Dekamp, Víctor Aparicio Mequiades, Virgilio Medel Cortés, Daniel García Cobeña, Diego Madueño Pulido, Fernando Ibañez Urzaiz, and Javier Gismero Menoyo. Coherent signal processing for traffic flow measuring radar sensor. *IEEE Sensors Journal*, 18(12):4803–4813, 2017.
7. Tiantian Bao, Zhenkai Zhang, and Mohamad Farzan Sabahi. An improved radar and infrared sensor tracking fusion algorithm based on imm-ukf. In *2019 IEEE 16th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, pages 420–423. IEEE, 2019.
8. David Savastürk, Bjoern Froehlich, Nicolai Schneider, Markus Enzweiler, and Uwe Franke. A comparison study on vehicle detection in far infrared

- and regular images. In 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pages 1595–1600. IEEE, 2015.
9. Limin Guan, Yi Chen, Guiping Wang, and Xu Lei. Real-time vehicle detection framework based on the fusion of lidar and camera. *Electronics*, 9(3):451, 2020.
 10. Roni Stiawan, Adhi Kusumadjati, Nina Siti Aminah, Mitra Djamal, and Sparisoma Viridi. An ultrasonic sensor system for vehicle detection application. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1204, page 012017. IOP Publishing, 2019.
 11. Volkan Cevher, Rama Chellappa, and James H McClellan. Vehicle speed estimation using acoustic wave patterns. *IEEE Transactions on signal processing*, 57(1):30–47, 2008.
 12. Moisés Rivas-López, Carlos A Gomez-Sanchez, Javier Rivera-Castillo, Oleg Sergiyenko, Wendy Flores-Fuentes, Julio C Rodríguez-Quiñonez, and Pedro Mayorga-Ortiz. Vehicle detection using an infrared light emitter and a photodiode as visualization system. In 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), pages 972–975. IEEE, 2015.
 13. Junlei Song, Yi Wei, Chaoyu Xu, Qi Liu, Kaifeng Dong, Wenqin Mo, and Fang Jin. Research of vehicle detection system based on geomagnetic disturbance detection. In 2018 37th Chinese Control Conference (CCC), pages 7840–7844. IEEE, 2018.
 14. Zusheng Zhang, Tiezhu Zhao, Xin Ao, and Huaqiang Yuan. A vehicle speed estimation algorithm based on dynamic time warping approach. *IEEE Sensors Journal*, 17(8):2456–2463, 2017. [29] J Han, O Heo, M Park, S Kee, and M Sunwoo. Vehicle distance estimation using a monocular camera for fcw/aeb systems. *International journal of automotive technology*, 17(3):483–491, 2016.
 15. Daming Li, Lianbing Deng, and Zhiming Cai. Design of traffic object recognition system based on machine learning. *Neural Computing and Applications*, pages 1–14, 2020.

16. Mark Bugeja, Alexiei Dingli, Maria Attard, and Dylan Seychell. Comparison of vehicle detection techniques applied to ip camera video feeds for use in intelligent transport systems. *Transportation Research Procedia*, 45:971–978, 2020.
17. Oleg Sergiyenko, Moisés Rivas-López, Jesús E Miranda-Vega, Wendy Flores-Fuentes, Julio C Rodríguez-Quiñonez, Lars Lindner, Daniel Hernández-Balbuena, Félix F GonzalezNavarro, and Vera Tyrsa. Sensors for structural health monitoring. In *Nanosensors for Smart Cities*, pages 227–248. Elsevier, 2020.
18. Vitalijs Komasilovs, Aleksejs Zacepins, Armands Kviesis, and Claudio Estevez. Traffic monitoring using an object detection framework with limited dataset. In *VEHITS*, pages 291–296, 2019.
19. Carmelo Gentile and Antonella Saisi. Continuous dynamic monitoring of a centenary iron bridge for structural modification assessment. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 9(1):26–41, 2015.
20. Enrique García-Macías and Filippo Ubertini. Automated operational modal analysis and ambient noise deconvolution interferometry for the full structural identification of historic towers: A case study of the sciri tower in perugia, italy. *Engineering Structures*, 215:110615, 2020.
21. Muhammad Zohaib Sarwar, Muhammad Rakeh Saleem, Jong-Woong Park, Do-Soo Moon, and Dong Joo Kim. Multimetric event-driven system for long-term wireless sensor operation in shm application. *arXiv*, pages arXiv–1910, 2019.
22. Song Ee Park, Seung-Hyun Eem, and Haemin Jeon. Concrete crack detection and quantification using deep learning and structured light. *Construction and Building Materials*, 252:119096, 2020.
23. H Jeon, S Choi, J-U Shin, Youngjae Kim, and Hyun Myung. High-speed 6-dof structural displacement monitoring by fusing visp (visually servoed paired structured light system) and imu with extended kalman filter. *Structural Control and Health Monitoring*, 24(6):e1926, 2017.

24. Wendy Flores-Fuentes, Moises Rivas-Lopez, Oleg Sergiyenko, Felix F Gonzalez-Navarro, Javier Rivera-Castillo, Daniel Hernandez-Balbuena, and Julio C Rodríguez-Quiñonez. Combined application of power spectrum centroid and support vector machines for measurement improvement in optical scanning systems. *Signal Processing*, 98:37–51, 2014.
25. JC Rodríguez-Quiñonez, O Sergiyenko, D Hernandez-Balbuena, M Rivas-Lopez, W Flores-Fuentes, and LC Basaca-Preciado. Improve 3d laser scanner measurements accuracy using a ffbp neural network with widrow-hoff weight/bias learning function. *Opto-Electronics Review*, 22(4):224–235, 2014.
26. Lars Lindner, Oleg Sergiyenko, Julio C Rodríguez-Quiñonez, Moises Rivas-Lopez, Daniel Hernandez-Balbuena, Wendy Flores-Fuentes, Fabian Natanael Murrieta-Rico, and Vera Tyrsa. Mobile robot vision system using continuous laser scanning for industrial application. *Industrial Robot: An International Journal*, 2016.
27. Moises J Castro-Toscano, Julio C Rodríguez-Quiñonez, Oleg Sergiyenko, Wendy FloresFuentes, Luis R Ramírez-Hernández, Daniel Hernández-Balbuena, Lars Lindner, and Raúl Rascón. Novel sensing approaches for structural deformation monitoring and 3d measurements. *IEEE Sensors Journal*, 2020.
28. Oscar Real-Moreno, Moises J Castro-Toscano, Julio C Rodríguez-Ouiñonez, Daniel Hernández-Balbuena, Wendy Flores-Fuentes, and Moises Rivas-Lopez. Implementing knearest neighbor algorithm on scanning aperture for accuracy improvement. In *IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pages 3182– 3186. IEEE, 2018.
29. Javier Rivera Castillo, Moises Rivas-Lopez, Wendy Flores-Fuentes, Oleg Sergiyenko, Julio Cesar Rodríguez-Quiñonez, and Daniel Hernandez-Balbuena. Machine vision optical scanners for landslide monitoring. In *Developing and Applying Optoelectronics in Machine Vision*, pages 206–235. IGI Global, 2017.

30. JE Miranda-Vega, M Rivas-López, W Flores-Fuentes, Oleg Sergiyenko, L Lindner, and JC Rodríguez-Quíñonez. Reconocimiento de patrones aplicando ida y vuelta a señales optoelectrónicas de sistemas de barrido óptico. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 17(4):401–411, 2020.
31. LR Ticona Melo, J Malveiro, D Ribeiro, R Calçada, and T Bittencourt. Dynamic analysis of the train-bridge system considering the non-linear behaviour of the track-deck interface. *Engineering Structures*, 220:110980, 2020.
32. FN Catbas, CZ Dong, O Celik, and T Khuc. A vision for vision-based technologies for bridge health monitoring. In *Maintenance, Safety, Risk, Management and Life-Cycle Performance of Bridges. Proceedings of the Ninth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2018)*, pages 54–62, 2018.
33. S Vasavi, N Kanthi Priyadarshini, and K Harsha Vardhan. Invariant feature based darknet architecture for moving object classification. *IEEE Sensors Journal*, 2020.
34. A Selvapandian, R Athilingam, and P Sivakumar. Performance analysis of glioma brain tumor detection and segmentation using image registration technique. *Materials Today: Proceedings*, 2020.
35. Cailing Wang, Yuchun Zhang, Pu Guo, and Jun Xu. Airborne high-resolution image motion target detection combined with hyperspectral features. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1544, page 012100. IOP Publishing, 2020.
36. Dan Wang, Kai Zhao, and Yi Wang. Based on deep learning in traffic remote sensing image processing to recognize target vehicle. *International Journal of Computers and Applications*, pages 1–7, 2020.
37. Mosab Bazargani, António Anjos, Fernando Lobo, Ali Mollahosseini, and Hamid Shahbazkia. Affine image registration transformation estimation using a real coded genetic algorithm with sbx. In *Proceedings of the 14th*

- annual conference companion on Genetic and evolutionary computation, pages 1459–1460, 2012.
38. A Comparative Example Between The Use Of Pca And Mds For Image Classification / Hernandez, W., Mendez, A., Flor-Unda, O., Camejo, I.M., Kolendovska, M. // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152565, Pages 1353-1358
39. Algorithm For Generating Refined Frequency Estimates In Atmospheric Radio Sounding Systems / Kartashov V., Hernandez W., Hernandez-Balbuena D., M. Kolendovska, Konovalenko O., Melnyk V. // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152562, Pages 79-82
40. Application of Fast Frequency Shift Measurement Method for INS in Navigation of Drones / D. Avalos-Gonzalez, D.H. Balbuena, V. Tyrsa, V.M. Kartashov, M. Kolendovska, S. Sheiko, O. Sergiyenko, V. Melnyk, F.N. Murrieta-Rico // IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – P. 3159–3164.
41. Avalos-Gonzalez, D., Sergiyenko, O., Hernandez-Balbuena, D., Tyrsa, V., Kartashov V.M., V., Rivas-Lopes, M., Murrieta-Rico, F.N. Constraints definition and application optimization based on geometric analysis of the frequency measurement method by pulse coincidence // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation (USA). 2018, V.126. P. 184-193.
42. Book “Control and Signal Processing Applications for Mobile and Aerial Robotic Systems”, Hardback - Advances in Computational Intelligence and Robotics English. Edited by Oleg Sergiyenko, Moises Rivas-Lopez, Wendy Flores-Fuentes, Julio Cesar Rodríguez-Quíñonez, Lars Lindner. Editorial

- IGI Global, Hershey, United States, January 2020, 340 páginas. ISBN10 152259924X, ISBN13 9781522599241
43. Cesar Sepulveda-Valdez ; Oleg Sergiyenko ; Vera Tyrsa ; Wendy Flores-Fuentes ; Julio César Rodríguez-Quiñonez ; Fabian Natanael Murrienta-Rico ; Jesús Elías Miranda-Vega ; Paolo Mercorelli ; Marina Kolendovska. "Geometric analysis of a laser scanner functioning based on dynamic triangulation," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1398-1403, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152268.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152268>
44. Cuauhtémoc Mariscal-García; Wendy Flores-Fuentes; Daniel Hernández-Balbuena; Julio C. Rodríguez-Quiñonez ; Oleg Sergiyenko. "Classification of Vehicle Images through Deep Neural Networks for Camera View Position Selection," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1376-1380, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152440.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152440>
45. Developing and Applying Optoelectronics in Machine Vision/ O. Sergiyenko, J.C. Rodriguez-Quiñonez, IGI Global, 2016; 341p.
46. Experimental estimation of direction finding to unmanned air vehicles algorithms efficiency by their acoustic emission, /Oleynikov, V., Zubkov, O., Kartashov, V., ...Sheiko, S., Babkin, S.//2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, 2019, стр. 175-178, 9061337
47. Features of acoustic noise of small unmanned aerial vehicles / Semenets, V.V., Kartashov, V.M., Leonidov, V.I. //Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika), 2020, 79(11), стр. 985-995

48. Geometric Analysis Of A Laser Scanner Functioning Based On Dynamic Triangulation / Sepulveda-Valdez, C., Sergiyenko, O., Tyrsa, V, Mercorelli, P., Kolendovska, M. // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152268, Pages 1398-1403
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152255>
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9161870>
49. I. Y. A. Corpus, L. Lindner, O. Sergiyenko. "Transimpedance Amplifier for Laser Scanning System Range Extension," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1421-1426, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152487.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152487>
50. Ivanov, M., Sergiyenko, O., Mercorelli, P., Hernandez, W.c, Rodriguez Quinonez, J.C.d, Katashov V., Kolendovska, M., Iryna, T. Effective informational entropy reduction in multi-robot systems based on real-time TVS. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2019-June, 8781209, c. 1162-1167.
51. Jonathan J. Sanchez-Castro ; Julio C. Rodríguez-Quiñonez ; Luis R. Ramírez-Hernández ; Guillermo Galaviz ; Daniel Hernández-Balbuena ; Gabriel Trujillo-Hernández ; Wendy Flores-Fuentes ; Paolo Mercorelli ; Wilmar Hernández-Perdomo ; Oleg Sergiyenko ; Félix Fernando González-Navarro. "A Lean Convolutional Neural Network for Vehicle Classification," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1365-1369, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152274.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152274>
52. Lindner, L., Sergiyenko, O., Rivas-López, M., (...), Gurko, A., Kartashov, V.M. Machine vision system for UAV navigation; IEEE, 2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and

- Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference, ESARS-ITEC, 2016; pp.1–6. DOI: 10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841356.
- 53.M. Ivanov, O. Sergiyenko, V. Tyrsa, P. Mercorelli, V. Kartashov, W. Hernandez, S. Sheiko, M. Kolendovska. Individual scans fusion in virtual knowledge base for navigation of mobile robotic group with 3D TVS // Proceedings of 44th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON).. -2018. – Washington DC, USA. -S. 3187-3192. . ISBN 978-1-5090-6683-4/18/.
- 54.Murrieta-Rico, F.N., Petranovskii, V., Galvan, D.H., Sergiyenko, O., Yocupicio-Gaxiola, R.I., De Dios Sanchez-Lopez, J. Phase effect in frequency measurements of a quartz crystal using the pulse coincidence principle. 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 185-190, 9152255, DOI: 10.1109/ISIE45063.2020.9152255
- 55.Oleksandr Sotnikov, Vladimir Kartashov, Oleksandr Tymochko, Oleg Sergiyenko, Vera Tyrsa, Paolo Mercorelli, Wendy Flores-Fuentes. Methods for Ensuring the Accuracy of Radiometric and Optoelectronic Navigation Systems of Flying Robots in a Developed Infrastructure. Chapter 16// Machine Vision and Navigation; Springer, Cham. pp.537–578. Editors: Sergiyenko, Oleg, Flores-Fuentes, Wendy, Mercorelli, Paolo. DOI: 10.1007/978-3-030-22587-2_16.
- 56.Optical detection of unmanned air vehicles on a video stream in a real-time/Kartashov, V., Oleynikov, V., Zubkov, O., Sheiko, S.// 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019 - Proceedings, 2019, 9165362/
- 57.Principles Of Construction And Assessment Of Technical Characteristics Of Multi-Frequency Atmospheric Sodar In The Humidity Measurement Mode / Kartashov, V.M., Sidorov, G.I., Sheiko, S.A., Kolendovskaya, M.M., Sergienko, O.Yu. // Telecommunications And Radio Engineering

- (English Translation Of Elektrosvyaz And Radiotekhnika), 2020, ISSN Print: 0040-2508, ISSN Online: 1943-6009, DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i4.50, p. 323-333/
58. Research Of The Uncertainty Of Measurement Frequencies And Definitions Of The Frequency Signal In The Waveguide With Respect To Power / Semenets, V.Zakharov, I. Serhienko, M., Kartashov, V.M, , Kolendovska, M., Hernandez, W., Hipolito, J.I.N., , Tyrsa, V.// 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2019; Lisbon Congress CenterLisbon; Portugal; 14 October 2019 до 17 October 2019; CFP19IEC-ART; Код 155980, Volume 2019-October, October 2019, № 8927203, Pages 4674-4679
59. Spatial-Temporal Processing Of Acoustic Signals Of Unmanned Aerial Vehicles /Kartashov V.M., Oleinikov V.N., Zubkov O.V., Sheiko S.A., Kolendovska M.M.// Telecommunications And Radio Engineering (English Translation Of Elektrosvyaz And Radiotekhnika), 2020, ISSN Print: 0040-2508, ISSN Online: 1943-6009, DOI: 10.1615/Telecomradeng.v79.i9.40, p. 769-780
60. Stereoscopic Vision Systems In Machine Vision, Models, And Applications (Book Chapter)/ Ramírez-Hernández, L.R., Rodríguez-Quiñonez, J.C., Castro-Toscano, M.J., Kolendovska, M., Murrieta-Rico, F.N.// Machine Vision And Navigation, 2019 Machine Vision and Navigation 30 September 2019, Pages 241-265
61. Strelkova T., Kartashov V., Lytyuga A., Strelkov A. Theoretical Methods of Images Processing in Optoelectronic Systems. Chapter 16. // Biometrics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications; Oleg Sergiyenko and Julio C. Rodriguez-Quiñonez. (341p.), IGI Global, 2017; pp. 361-381. DOI: 10.4018/978-1-5225-0983-7.ch016.
62. Strelkova T., Kartashov V., Lytyuga A., Strelkov A. Theoretical Methods of Images Processing in Optoelectronic Systems. Chapter 6// Developing and Applying Optoelectronics in Machine Vision; Oleg Sergiyenko and Julio C.

- Rodriguez-Quiñonez. (341p.) – USA, Herhey, IGI Global, 2016; pp.180-205.
- 63.Sytnik O., KartashovV. Methods and Algorithms for Technical Visionin Radar Introscopy. Chapter 13// Optoelectronics in Machine Vision-Based Theories and Applications. IGI Global, 2019; pp. 373-391.
- 64.The Use of Factorization and Multimode Parametric Spectra in Estimating Frequency and Spectral Parameters of Signal/Semenets, V., Kartashov, V., Sergiyenko, O., ...Rodriguez-Quinonez, J.C., Flores-Fuentes, W.//IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2020, 2020-June, p. 215-219
- 65.Una, O.F., Hernandez, W., Vargas, O., Mendez, A., Sergiyenko, O., Tyrsa, V. Construction of a robotic platform of differential type for first-year students of electronic engineering, 2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2020, 24-26 de junio de 2020, Sorrento, Italia, pp. 538-543, 9161870, DOI: 10.1109/SPEEDAM48782.2020.9161870
- 66.Use of Acoustic Signature for Detection, Recognition and Direction Finding of Small Unmanned Aerial Vehicles/Kartashov, V., Oleynikov, V., Koryttsev, I., ...Babkin, S., Selieznov, I.//Proceedings - 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020, 2020, p. 377-380/
- 67.V. Semenets; Vladimir Kartashov ; Oleg Sergiyenko; Vyacheslav Tikhonov ; Paolo Mercorelli ; Sergiy Sheiko ; Nataliya Chmelarova. "The Use of Factorization and Multimode Parametric Spectra in Estimating Frequency and Spectral Parameters of Signal," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 215-219, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152238.
- <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152238>

68. Wilmar Hernandez ; Alfredo Mendez ; Omar Flor-Unda ; Vicente Gonzalez-Posada ; Jose Luis Jimenez ; Oleg Sergiyenko ; Julio C. Rodriguez-Quiñonez ; Mykhailo Ivanov ; Ivan Menes Camejo ; Marina Kolendovska. "A comparative example between the use of PCA and MDS for image classification," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1353-1358, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152565.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152565>
69. Карташов В.М. и др. Обработка сигналов в радиоэлектронных системах дистанционного мониторинга атмосферы; Харьков: ХНУРЭ, 2014. 312 с.
70. Карташов В.М., Олейников В.Н., Колендовская М.М., Тимошенко Л.П., Капуста А.И., Рыбников Н.В. Комплексирование изображений при обнаружении беспилотных летательных аппаратов// Радиотехника. (Харьков). 2020. Вып. 201; С.120-129.
71. Карташов В.М., Посошенко В.А., Цехмистро Р.И., Тимошенко Л.П., Колендовская М.М. Методы ориентации, навигации и контроля мобильных робототехнических платформ// Радиотехника. (Харьков). 2019. Вып. 199. С. 38-44.
72. Ситнік О.В., Карташов В.М. Радіотехнічні системи. Навч. посібник. Х.: Сміт, 2009. 448 с.