

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)

Дослідження методів машинного зору для оцінки кореляції зміщення
координат при різних навантаженнях мосту

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи МІм-22-1
Євген РОМАНОВ

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма Медіаінженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник ас. Ярослав СІДОРОВ
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Володимир КАРТАШОВ
(прізвище, ініціали)

2023 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації

Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма "Медіаінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Романову Євгену Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів машинного зору для оцінки кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту

затверджена наказом по університету від " 20 " 10 " 2023 р. № 1224 СТ

2. Термін подання студентом роботи 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

1. Вибір та реалізація інтелектуального алгоритму обробки зображень для автоматичної класифікації даних від датчика навантаження на мосту

2. Оцінка параметрів, випадкове змішування даних для навчання та перевірки точності та точності алгоритму класифікації;

3. Використання системи технічного бачення на платформі, яка включає збір даних про навантаження з мосту, їх класифікацію, а також етап реагування для кореляції даних про навантаження мосту з координатами руху мосту;

4. Визначення змінних середовища, які можуть вплинути на продуктивність системи технічного зору.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

ВСТУП

1. Аналітичний огляд методів перевірки технічного стану мостів та аналіз пов'язаних із цим робіт

2. Аналіз методів машинного зору для оцінки кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту

3. Огляд існуючих методів перевірки технічного стану мостів

4. Оцінка кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту

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. С Аналіз проблеми та постановка задачі; 3. Оптична система сканування; 4. Розрахунок координат (x, y, z); 5. Оптична система сканування для ПСМС на основі некогерентного світлового випромінювання; 6.

Підходи для вирішення поставлених задач; 7. Розробка класифікатору навантажень мосту; 8. Результати процесу глибокого навчання; 9. Загальна блок-схема реєстрації зображення; 10. Результати реєстрації зображення; 11. Висновки

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд методів перевірки технічного стану мостів та аналіз пов'язаних із цим робіт	20.10.23–28.11.23	
2.	Аналіз методів машинного зору для оцінки кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту	21.11.23–28.11.23	
3.	Огляд існуючих методів перевірки технічного стану мостів	23.11.23–02.12.23	
4.	Оцінка кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту	01.12.21–15.12.23	
5.	Графічна частина роботи	15.12.23–20.12.23	
6.	Перевірка керівником	20.12.23–24.12.23	
7.	Перевірка на академічний плагіат	24.12.23–26.12.23	
8.	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	27.12.23–31.12.23	

Дата видачі завдання 20.10.2023 р.

Студент  Євген РОМАНОВ
(підпис)

Керівник роботи _____ ас. Ярослав СІДОРОВ
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи має: 70 с., 17 рис., 6 табл., 2 додатки, 72 джерел.

МОБІЛЬНІ РОБОТИ, МОСТИ, СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ, ОПТИЧНІ СИСТЕМИ, ДОРОЖНЕ ПОКРИТТЯ, МІСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Об'єкт дослідження – алгоритми обробки зображень для автоматичної класифікації даних.

Предмет дослідження – методи та системи технічного зору для оцінки кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідження методів машинного зору для оцінки кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту.

Методи дослідження – теоретичний аналіз, числові розрахунки, математичне моделювання, методи глибокого навчання.

Загальною метою цієї кваліфікаційної роботи було дослідження методів машинного зору для оцінки кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту, це необхідно для подальшої розробки системи бачення для вимірювання динамічного навантаження транспортних засобів, що рухаються мостом у певний момент часу, щоб співвіднести його з координатним рухом мосту в цей момент часу.

У кваліфікаційній роботі вирішувалися наступні завдання:

- використання набору даних з різними варіантами навантаження мосту;
- вибір та реалізація інтелектуального алгоритму обробки зображень для автоматичної класифікації даних від датчика навантаження на мосту;
- оцінка параметрів, випадкове змішування даних для навчання та перевірки точності та точності алгоритму класифікації;
- використання системи технічного бачення на платформі, яка включає збір даних про навантаження з мосту, їх класифікацію, а також етап

реагування для кореляції даних про навантаження мосту з координатами руху мосту;

- визначення змінних середовища, які можуть вплинути на продуктивність системи технічного зору.

ABSTRACT

The explanatory note of the qualification paper has: 70 pages, 17 figures, 6 tables, 2 appendices, 72 sources.

MOBILE ROBOTS, BRIDGES, TECHNICAL VISION SYSTEMS, OPTICAL SYSTEMS, ROAD COVERING, URBAN ENVIRONMENT

The object of research is image processing algorithms for automatic data classification.

The subject of the study is methods and systems of technical vision for assessing the correlation of coordinate displacement under different bridge loads.

The purpose of the qualification work is to study machine vision methods for evaluating the correlation of coordinate displacement under different bridge loads.

Research methods – theoretical analysis, numerical calculations, mathematical modeling, deep learning methods.

The overall goal of this qualification work was to investigate machine vision methods to evaluate the correlation of coordinate displacement under different bridge loads, this is necessary for the further development of a vision system to measure the dynamic load of vehicles moving on the bridge at a certain time in order to correlate it with the coordinate movement of the bridge in this moment in time.

The following tasks were solved in the qualifying work:

- use of a data set with different bridge loading options;
- selection and implementation of an intelligent image processing algorithm for automatic classification of data from the load sensor on the bridge;
- parameter estimation, random mixing of data for training and testing the accuracy and precision of the classification algorithm;
- use of the technical vision system on the platform, which includes the collection of data on the load from the bridge, their classification, as well as

the response stage for the correlation of the data on the bridge load with the coordinates of the movement of the bridge;

- determination of environmental variables that can affect the performance of the technical vision system.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АФС - антено-фідерна система;
- ДСА - діаграма спрямованості антени;
- КВ НКІ ЕМВ - комплекс впливу надкороткоімпульсного;
електромагнітного випромінювання;
- КВА - контрольно-вимірювальна апаратура;
- МЕК - міжнародна електротехнічна комісія;
- ЗЗ - зворотний зв'язок;
- ПК - персональний комп'ютер;
- ППРЧ (FHSS) – псевдовипадкове переналаштування частоти;
- РРЛ - радіорелейні лінії;
- РЕБ - радіоелектронна боротьба;
- РЕП - радіоелектронне подавлення;
- РЕЗ- радіоелектронні засоби;
- СПО - спеціальне програмне забезпечення;
- НШС – надширокосмуговий;
- НКІ ЕМВ - надкороткоімпульсне електромагнітне випромінювання;
- ТС - технічний засіб;
- ЧТС - частотно тимчасовий сигнал;
- ШРД - широкосмуговий радіодоступ;
- ШПС - широкосмугові сигнали;
- ШШС - шумоподібний широкосмуговий сигнал;
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – метод модуляції з ортогональним частотним розділенням;
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) - метод розширення спектра методом прямої послідовності;
- QAM (Quadrature Amplitude Modulation) - метод амплітудно фазової модуляції.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	8
Вступ.....	11
1 Аналітичний огляд методів перевірки технічного стану мостів та аналіз пов'язаних із цим робіт	13
1.1 Аналітичний огляд класифікацій автомобільних мостів в залежності від густонаселеності.....	13
1.2 Аналіз моніторингу стану конструкцій автомобільних мостів.....	17
2 Аналіз методів машинного зору для оцінки кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту.....	21
2.1 Класифікування навантаження мосту використовуючи оцінку кореляції зі зміщенням координат при його деформації	21
2.3 Аналіз методів моніторингу стану конструкції мостів	24
2.4 Обґрунтування вибору методу класифікації транспортних засобів за зображеннями	27
3 Огляд існуючих методів перевірки технічного стану мостів.....	30
3.1 Аналіз методів які базуються на системах розгортки.....	30
3.1.1 Система оптичного сканування для вимірювання зміщення	30
3.1.2 Аналіз принципу роботи апертури оптоелектронного сканування	31
3.2 Методи, що базуються на кореляції даних двох вимірювальних систем	36
3.2.1 Метод множинної регресії/кореляції	37
3.2.2 Метод кореляції двох змінних (коефіцієнт Пірсона)	37
3.2.3 Метод кореляції двох змінних (коефіцієнт Спірмена).....	39
3.2.4 Порівняльний аналіз коефіцієнтів Пірсона і Спірмена.....	40
4 Оцінка кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту ...	44

4.1	Методи оцінки взаємодії транспортного засобу з мостом.....	44
4.2	Обчислювальні моделі - класифікатори навантаження мостів при оцінці впливу транспортного засібу на міст	45
4.2.1	Класифікації навантажень моста методом глибокого навчання.....	46
4.2.2	Процес реєстрації зображення.....	48
4.3	Створення класифікації навантажень мосту	51
	ВИСНОВКИ.....	57
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ДОДАТКИ.....	71
	Додаток А.....	72
	Додаток Б	78

ВСТУП

Як показали військові дії в нашій країні мости - важлива інфраструктура транспортної системи. Вони мають зв'язувати різні точки міста або навіть країни. Щоб уникнути заторів і дати можливість новим маршрутам дістатися доли за менший час і на менші відстані. Мости страждають від руйнування внаслідок різних факторів, таких як:

- природні явища - плин часу, зміни температури, вітер, вологість і сейсмічні рухи;
- військові дії – механічні пошкодження за рахунок бойових дій;
- аварії такі як: транспортний засіб-транспортний засіб або міст транспортний засіб;
- проектування, використання невідповідних та неякісних матеріалів і технологій будівництва;
- перенавантаження або зростання динамічних навантажень транспорту.

Конструктивна система моніторингу стану мостів є надзвичайно важливою практикою, щоб вони могли забезпечити безпеку та послуги громаді. Крім того, це дозволяє візуалізувати потреби в обслуговуванні, щоб ви могли з достатньою мірою передбачити кількість ресурсів, які знадобляться для їх обслуговування з метою захисту інвестиційного активу. В ході роботи були використані стандарти AASHTO (Американської асоціації державних дорожніх і транспортних службовців) оскільки, причини, які можуть пошкодити мости можуть бути дуже різні, і для подальшого використання сучасних баз даних обстеження мостів.

Традиційно система моніторингу стану конструкції мосту складається з систематичного огляду та оцінки, що виконується спеціалізованим персоналом, зосереджених на виявленні розривів, тріщин та падінь на підконструкції, підтримці диспозитивних пошкоджень, тріщин на надбудові, обвалів, руйнування, аварії, пошкодження та корозія компенсаторів [1].

Кріплення аналізуються на основі розрахункової геометрії моста, а для розуміння динамічної поведінки моста реалізуються вимірювання вібрації.

Однак із розвитком різних методів структурного моніторингу стану мостів з'явилися варіанти впровадження постійного типу структурної системи моніторингу здоров'я для мостів для підтримки та/або заміни періодичного чи непрямого моніторингу.

У описаному випадку системи оптичного сканування дозволяють безперервно контролювати попередньо вибрані координати над конструкцією, щоб перевірити, чи не зазнає вона зміщення, яке вказує на обвалення конструкції мосту [2].

При впливі транспортного засобу на міст виникають коливання в частотному діапазоні від 1 до 8 Гц, що призводить до того, що контрольована координата також демонструє коливання [3].

Через це необхідна система моніторингу чи оптичного сканування, щоб визначити, чи відповідає зміщення координат, що контролюється, погіршенню стану моста чи через взаємодію транспортного засобу з мостом (ВТЗМ).

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ПЕРЕВІРКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОСТІВ ТА АНАЛІЗ ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ЦИМ РОБІТ

1.1 Аналітичний огляд класифікацій автомобільних мостів в залежності від густонаселеності

В роботі будуть використовуватись данні накопичені дослідниками університету Нижньої Каліфорнії Мексики, оскільки кафедра MPEC має співпрацю з, а на даний час в Україні йде повномасштавна війна і можливості збору даних немає. Також будуть розглянуті класифікації доріг згідно AASHTO.

З 9167 мостів по всій Мексиці, зареєстрованих до 2022 року, 213 розташовані в штаті Нижня Каліфорнія, а 123 пов'язані з містом Мехікалі, класифікованих за перешкодами, які вони перетинають (канал, річка або струмок, пішохідний перехід, шосе SCT, шосе, Залізниця). і не-SCT шосе). Серед яких виділяється культовий міст на бульварі Ласаро Карденас і Periferico Oriente, більш відомий як «El Puente Pando». Згідно з останнім переписом INEGI 2010 року, ці мости Федеральної асфальтової мережі, що з'єднує міста Мексики, створили комерційну та соціальну сферу для населення країни, яке налічує приблизно 120 мільйонів людей, і 3 155 070 осіб лише в Нижній Каліфорнії. до зростання чисельності населення та його прогноз за даними Національної ради з питань народонаселення (CONAPO), у 2017 р., як показано на рис. (1.1), надзвичайно важливо, щоб національні автомагістралі та мости були у відмінному стані та з високою безпекою для проїзду цими мостами [4].

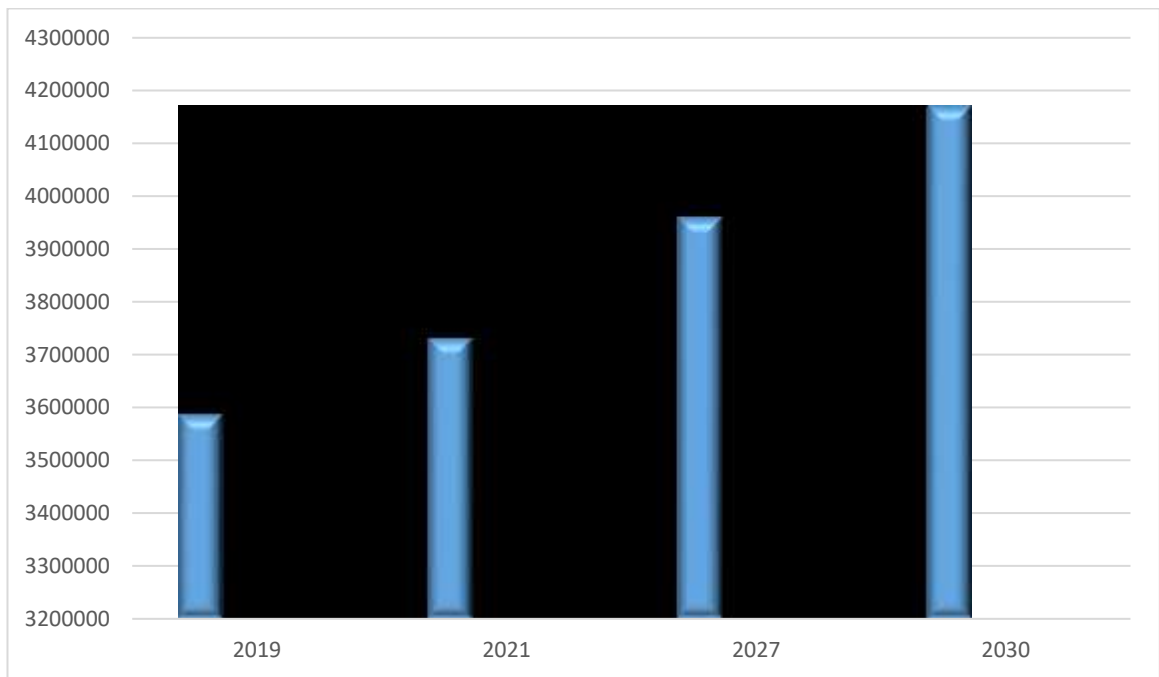


Рисунок 1.1 – Діаграма оцінки стану мостів до 2030

Через це існують правила користування транспортом і мостами. Наприклад, офіційний мексиканський стандарт NOM-012-SCT-2-2017 щодо маси та максимальних розмірів, які можуть перевозити транспортні засоби, які рухаються дорогами загального користування федеральної юрисдикції. Через здатність витримувати великі транспортні навантаження необхідно, щоб програма SIPUMEX була типовою для доріг федерального значення. Ці дороги поділяються на чотири класи: А, В, С і D відповідно до їх TDPA (середньоденний річний трафік) [4].

Клас А: для середньорічного щоденного трафіку понад 3000 транспортних засобів, що еквівалентно максимальному щорічному трафіку 360 транспортних засобів або більше [4].

Клас В: для середньорічного денного трафіку понад 1500-3000 транспортних засобів, що еквівалентно максимальному річному годинному трафіку від 60 до 180 транспортних засобів [4].

Клас С: для середньорічного щоденного трафіку від 500 до 1500 транспортних засобів, що еквівалентно максимальному річному годинному трафіку до 60 транспортних засобів [4].

Клас D: для середньорічного щоденного трафіку понад 100-500 транспортних засобів [4].

Клас E: для середньорічного щоденного трафіку до 100 транспортних засобів [4].

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 [4], згідно з таблицею (1.1):

Таблиця 1.1 – Класифікація доріг за їх геометричними характеристиками [4]

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 [4].
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 [4].
Шосе чотири смуги, первинна мережа.	B4	Це ті, які складають первинну мережу, яка надає послуги міждержавного зв'язку [4].
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 [4].
Двосмугове шосе, Сільська дорога	D	Живильна мережа. Вони надають послуги в межах муніципалітету з відносно короткою протяжністю, встановлюючи з'єднання з вторинною мережею [4].

Важливо зазначити, що спеціальні вантажні транспортні засоби повинні контролюватися жовтими пілотними блоками та позначатися своєю назвою збоку, дивіться малюнок (1.2). Ці транспортні засоби повинні мати вишки та знаки, які вказують на те, що проїзд транспортних засобів із завищеною шириною, довжиною чи габаритами охороняється.



Рисунок 1.2 –Блок для проїзду транспортних засобів зі спеціальними вантажами

1.2 Аналіз моніторингу стану конструкцій автомобільних мостів

Мости схильні до різних типів механізмів руйнування, таких як корозія, втома, карбонізація або лужно-агрегатні реакції внаслідок старіння, умов навколишнього середовища та перевантаження. Протягом століть SHM проводився шляхом візуального огляду експертами для виявлення дефектів, зносу та пошкоджень. Сьогодні стратегії моніторингу стану конструкцій використовують датчики та інформаційні технології для постійного збору даних для розробки методів, що забезпечують точнішу картину ефективності структур, ніж традиційні стратегії.

Переваги методів безперервного моніторингу полягають у тому, що вони дозволяють контролювати будівлі під час їх експлуатації. Вони також дають змогу дізнатися про глобальну історичну поведінку мостів, щоб показати тенденції деградації, а не лише виявити наслідки екстремальних подій, таких як зіткнення чи екологічні атаки (сильні землетруси чи урагани) [5]. моніторингу стану конструкцій мостів оцінює їх цілісність і включає аналіз залишкового ресурсу та несучої здатності. Зібрані дані використовуються для оптимізації експлуатації, обслуговування та ремонту мостів. В даний час існують безперервні стратегії моніторингу стану

конструкцій SHM, засновані на вібраційному аналізі [5-6] частотних режимів спрямованого поширення хвилі, бездротові сенсорні мережі на основі напруги, прискорення і часу [7], комп'ютерного зору для цифрової обробки даних. . зображень і лазерних сигналів з використанням традиційних алгоритмів і машинного навчання [8], а також структурованого світла на основі оптичного сканування [9].

Вимірювання значень моніторингу стану конструкцій не є універсальними; вони залежать від використовуваної технології та методу, а також від характеристик моста. Величина зміщення особливо важлива для оцінки стану мосту, оскільки вона вказує на відхилення мосту від початкової конструкції, але її важко виміряти, оскільки для цього потрібна фіксована контрольна точка [10] або метод кореляції між вимірюваннями зміщення та зміщенням мосту. внаслідок взаємодії міст-транспортний засіб, як запропоновано в цій дисертації. Для розрахунку переміщення використовувалися різні датчики, акселерометри, тензодатчики, інклінометри, волоконно-оптична деформація Брегга, але отримана інформація обмежена кількістю точок, обладнаних датчиками як рішення для розширення вимірювання. пропонує використовувати системи оптичного сканування, які можуть безперервно та безконтактно контролювати велику кількість точок на заданій конструкції, наприклад, мости, використовуючи одну систему.

Моніторинг функціональності гегазинів щодо змін повідомлень про первинні та крихкі дані має важливе значення для оцінки та визначення гегазинів, повідомлення про те, що ці гегазини знаходяться в оптимальній нерухомості для виконання сірих функцій.

Відстежуючи стан здоров'я конструкції, можна оцінити, чи існує ризик пошкодження контрольованої конструкції. Загалом існує велика різноманітність датчиків, які можна використовувати для безперервного збору даних протягом тривалого періоду часу по всій структурі для збору даних у різних точках. Таким чином можна передбачити термін служби конструкції та вирішити, чи потрібно конструкцію належним чином підтримувати чи

замінити. З використанням технологій можна створити кращий план обслуговування цивільних і промислових будівель, які стають видимими. Це може бути предметом відповідних продувних конструкцій шляхопроводу та вибрати ризик для здоров'я консерваторів, як територію в недостатніх місцях, об'їзд під мостом, ймовірно, з безпрецедентним трафіком [11], де візуальний огляд становить високий ризик.

З розвитком технологій обробка даних дає змогу керувати великими обсягами інформації, яку моніторинг здоров'я конструкцій і штучний інтелект можуть використовувати для вилучення шаблонів і аналізу класифікації для кращого розуміння структурної поведінки. Також є можливість отримувати сповіщення в режимі реального часу про можливі структурні пошкодження, а також більш точно визначати місце структурних пошкоджень.

Конструкції та спеціальні мости щодня пошкоджуються з різних причин, і моніторинг технічних пошкоджень є важливим, оскільки ці пошкодження спричинили низку катастроф, які спричинили багато втрат, як економічних, так і людських. З цієї причини моніторинг стану конструкції відповідає за ідентифікацію та локалізацію пошкоджень конструкції та прогнозування життєвого циклу цих структур [12].

Моніторинг стану конструкцій лежить в основі продажу конструкцій і гарантує їх вартість. Зношення - пошкодження, що виникають в процесі експлуатації мостових конструкцій протягом терміну їх служби. Тому міст потрібно перевіряти.

Коли міст починає виконувати свою функцію і виникає негайне пошкодження, то в мостах, зокрема, перевіряють наявність тріщин у бетоні, деформацій і корозії металу та зварювальних матеріалів внаслідок несправності конструкції [11]. Зношена або несуча поверхня Це вимощення верхньої поверхні та доступу до мосту. Будується з бетонних або асфальтових покриттів. Щоб спланувати технічне обслуговування мосту, міст спочатку перевіряють на наявність конструктивних дефектів.

Деякі роботи з планового та періодичного технічного обслуговування схожі, але їх відмінності полягають у тому, що обсяг робіт з періодичного технічного обслуговування більший і в основному включає роботи: повна або часткова заміна бетонних плит, ремонт бетону та металу в сигнальних конструкціях та заміни.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ ОЦІНКИ КОРЕЛЯЦІЇ ЗМІЩЕННЯ КООРДИНАТ ПРИ РІЗНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ МОСТУ

2.1 Класифікування навантаження мосту використовуючи оцінку кореляції зі зміщенням координат при його деформації

Моніторинг експлуатаційних характеристик мостових конструкцій складається із систематичних перевірок та оцінок спеціалізованим персоналом, головним чином зосереджених на виявленні розривів, тріщин і падінь у підконструкції, пошкодження опорних пристроїв, тріщин у верхній конструкції, обвалів, осідань, ударів, пошкоджень компенсаторів і корозії [1]. Проаналізовано відповідність геометрії мосту його конструкції та виконано вимірювання вібрації для визначення динамічної поведінки мосту.

Однак із розвитком різних методів моніторингу стану конструкції пропонуються варіанти безперервного моніторингу стану конструкції мосту для підтримки та/або заміни необхідного чи непрямого моніторингу.

Так відбувається з системами оптичного сканування [2], які не можуть безперервно відстежувати попередньо вибрані координати на конструкції, щоб побачити, чи відоме їм зміщення, яке вказує на те, що конструкція мосту позначає руйнування.

Однак через взаємодію транспортного засобу з мостом виникає коливання в мосту в частотному діапазоні 1 Гц -до 8 Гц, що призводить до того, що контрольована координата також демонструє коливальну поведінку [3].

З цієї причини система оптичного сканування потребує системи підтримки, щоб програмне забезпечення, яке змінює координати, які контролюються, погіршувало якість мосту або ефект взаємодії пошкодження руху та мосту.

Згідно з дослідженнями, проведеними в Канаді з оцінкою недостатньої ефективності старих мостів, ризик смерті через структурну несправність становить 0,1 мільйона людей на рік [4], хоча ця статистика може класифікувати цей факт як низький ризик, моніторинг продуктивності структура допомагає підтримувати цей показник низьким. рівнів, не надає достатньо даних для прийняття рішень щодо профілактичного обслуговування, використання та ремонту конструкцій.

Звичайні методи оцінки мостів складаються з візуального огляду, руйнівного контролю елементів конструкції мосту, а іноді й неруйнівного контролю. У той час як системи структурного моніторингу, засновані на нетрадиційних методах, також інтегровані з датчиками, підсистемами збору даних, підсистемами обробки сигналів і зберігання даних, підсистемами зв'язку та інтелектуальним моделюванням структурної поведінки та системами виявлення пошкоджень на основі знань структурної поведінки.

Нові технології моніторингу будівництва відмовляються від моніторингу відповідно до потреб служби або постійно, через вплив використання мостів у громаді, важливо, щоб вона працювала, це те, що найменше заважає вашій службі, і тому дуже цінно, що він може залишатися включеним під час вашого структурного моніторингу.

Огляд літератури показав, що є кілька звітів про інновації та розвиток автономних систем, здатних до безперервного моніторингу, таких як такі системи:

- системи на основі волоконно-оптичних сенсорів і армованого волокнистим полімером [5];
- системи на основі датчиків напруги (деформації електричного опору) і методу BWIM (мостове зважування в Росії) [6];
- системи на основі різних перетворювачів і датчиків, наприклад WASHMS (Система моніторингу вітру та споруд), розроблена в Гонконзі, яка оснащена трьома модулями [7]:

- а) вхідні параметри для відстеження температури, руху, вітру та сейсмічних показників [7];
 - б) системи моніторингу параметрів статичних коефіцієнтів впливу та глобальних динамічних характеристик [7];
 - в) вихідні параметри для моніторингу коливання геометрії моста (переміщення) і натягу його елементів [7];
- системи на основі п'єзоелектричних датчиків для визначення напруги та прискорення в конструкціях [8];
 - системи на основі нахилометрів і системи глобального позиціонування (GPS) [9-10];
 - системи, засновані на аналізі акустичних сигналів, отриманих за допомогою мікрофонів [11-12];
 - системи на основі інтелектуальних технологій, смартфони, доступні камери високої роздільної здатності, дрони (БПЛА) і роботизовані датчики [13];
 - системи сканування на основі лазерної технології [14];
 - системи сканування на основі оптоелектронної апертури та некогерентного джерела світла для вимірювання координат та оцінки переміщень [15].

Система оптичного сканування досягла задовільних результатів у вимірюванні переміщення, відстежуючи зміщення статичних конструкцій, таких як будівлі [2]. Однак для використання в моніторингу мостів необхідно було дослідити, в яких частотних діапазонах мости зазвичай коливаються, оскільки робочий діапазон скануючої системи становить від 20 Гц до 60 Гц.

Було виявлено, що мости демонструють невеликі коливання через вплив кількох факторів, включаючи нерівність дороги, взаємодію автомобіля з мостом, швидкість автомобіля та довжину мосту. Згідно з публікацією [3], ці частоти коливаються 1 Гц - 8 Гц. У той час як система оптичного сканування є зручною та придатною для використання під час моніторингу дорожнього

руху на мостах, система підтримки необхідна для системи оптичного сканування, щоб визначити, чи відповідають контрольовані координатні зміщення пошкодженню мосту чи ефекту взаємодії автомобіля з мостом. З цією метою була розроблена система технічного бачення для класифікації навантаження на міст, щоб співвіднести його з його координатним переміщенням, використовуючи набори даних про транспортні засоби та відеокамеру для спостереження за комерційною смугою. Автомобільний міст для визначення навантаження, яке відчуває міст через транспорт, що проходить по ньому в певний момент часу, щоб узгодити навантаження, наявне в цей момент, з координатною позицією, що контролюється одночасно.

2.3 Аналіз методів моніторингу стану конструкції мостів

Постійний структурний моніторинг стану (ПСМС) мостів необхідний для пошуку інформації про їх стан. Це важливо для розуміння їх поведінки, щоб знати, чи працюють вони в здорових умовах, перевантажені та/або знаходяться в процесі низького/середнього/високого погіршення.

Оскільки міста ростуть і модернізуються, трафік збільшується, а конструкція мостів стає дедалі складнішою, розумні міста, концепції сталого розвитку та поява інтелектуальних технологій спонукають до заміни звичайних методів моніторингу здоров'я конструкцій безконтактними безперервними методами ПСМС.

З іншого боку, ПСМС завжди був викликом. З'явився широкий спектр технологій, що породжує різні системи ПСМС, залежно від характеристик структури, що контролюється, різні системи ПСМС адаптують своє застосування та методологію впровадження. Це стосується систем оптичного сканування (СОС), що використовуються для вимірювання переміщень, які досягли задовільних результатів при їх застосуванні в статичних конструкціях, таких як будівлі [2], але при реалізації в ПСМС мостів вони вимагають аналізу

взаємодії транспортного засобу та мосту. (ВТЗМ) з метою співвіднесення навантаження від транспорту зі зміщенням конструкції мосту.

Навантаження на дорогу 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 працює при зміні ємності внаслідок зміни відстані між двома електродами під дією зовнішнього тиску [16];
- датчики індуктивної петлі, що складаються з 2-3 витків ізольованого дроту, вбудованого в тротуар, для вимірювання зміни індуктивності системи під час проходження транспортного засобу через петлі [17];
- мікрохвильовий радар на основі частотно-модульованих безперервних хвиль, випромінюваних для відбиття від поверхні транспортних засобів, напрямки відлуння яких оцінюються за допомогою обробки сигналів для виявлення транспортних засобів та їх швидкості [18];
- радарна технологія в синергії з інфрачервоними датчиками з використанням алгоритмів злиття даних [19];
- монокулярний зір в інфрачервоних зображеннях, заснований на аналізі сигналів рівня тепла у вихлопних трубах і шинах транспортних засобів на дорозі з використанням алгоритмів класифікації [20];
- заснований на принципі, подібному до радара, датчик світла та дальності (лідар) випромінює швидкі імпульси лазерного світла на поверхні транспортного засобу, щоб виміряти час відновлення кожного імпульсу, таким чином визначаючи відстань до об'єктів поблизу. . забезпечення хмари точок [21];
- ультразвуковий датчик, який використовує основний принцип поширення та відбиття звуку матеріалом в ультразвуковому діапазоні частот, цей датчик має передавач, який випромінює ультразвукові хвилі, коли хвилі потрапляють на транспортний засіб, частина їх енергії

- відбивається назад до датчика. приймач як луна-сигнал для визначення свого положення та швидкості [22];
- пасивний акустичний датчик, який записує шум від руху транспортного засобу, щоб оцінити структуру акустичної хвилі отриманих сигналів, що генеруються двигуном, шинами, вихлопною системою, аеродинамічними та механічними впливами (наприклад, обертанням осі, гальмівними колодками та підвіскою) для визначення профілю автомобіля [23-25];
 - системи з принципом роботи на основі двох модульованих інфрачервоних випромінювачів і фотодіода з оптичним фільтром як приймача, обидва встановлені на площині виявлення, кожен раз, коли їх зв'язок переривається, система зараховує це як зайнятість автомобіля [26-27];
 - бездротовий анізотропний магніторезистивний датчик, який використовується для виявлення геомагнітних збурень навколо земного екватора в режимі реального часу через феромагнітний матеріал у поєднанні з ультразвуковим датчиком відстані для визначення положення транспортних засобів [28-30] на основі систем моно або стереокамер, напр. в [31] монокулярна камера, яка використовує інформацію про виявлену смугу, і модель камери-обскури, яка складається з математичної залежності між координатами точки в тривимірному просторі та її проекцією на транспортний засіб, використовуються для оцінки відстані від транспортних засобів.

Площина зображення ідеальної камери-обскури, де апертура камери описується як точка, а для фокусування світла не використовується лінза, тоді як у [28-30] поєднання обох методів є злиттям, монокулярною камерою та бінокулярною стереокамерою поєднуються для оптимізації оцінки кадру OBS транспортного засобу цільового обладнання.

Більшість методів, заснованих на комп'ютерному зорі, засновані на відео і в основному базуються на цифровій обробці зображень, штучному інтелекту та

технологіях, пов'язаних з інтелектуальним аналізом даних. Для розробки цього робота була обрана оцінка взаємодії транспортного засобу з мостом на основі обробки зображення руху транспортних засобів [30-31]. Рішення прийнято з огляду на те, що сьогодні тенденцією сучасних міст, транспортна система яких включає мости, є прийняття концепцій розумних міст. Сюди входить встановлення відеоспостереження на мостах для виявлення та відстеження транспортних засобів різного призначення [32-33]. Оскільки відеоспостереження є недооціненим джерелом інформації про дорожній рух, яке вже встановлено та доступне на більшості мостів, обробка зображень була обрана для отримання показника навантаження на міст, який корелює з вимірюваннями трафіку [33].

2.4 Обґрунтування вибору методу класифікації транспортних засобів за зображеннями

Хоча за останнє десятиліття технологія значно просунулася вперед, існує велика кількість наукової літератури про розробку систем безперервного моніторингу більшості проектних характеристик, таких як ті, що описані в постановці проблеми, наразі в Мексиці перевірка та оцінка мостів продовжує проводитися візуально [16], де описується практика перевірки мостів у системі автомобільних доріг країни, що дозволяє отримати огляд поточного структурного стану кожної роботи, через звіти системи мостів у Мексиці (SIPUMEX) і Системою управління мостами (SIAP).

Навантаження транспортного засобу, що рухається по мосту, можна оцінити за допомогою методу BWIM (bridge weigh-in-motion), цей метод аналізує реакцію мосту для оцінки ваги транспортного засобу на вісь або групу осей [6]. -7], в його елементах встановлені тензодатчики, оцінка яких базується на математичному аналізі згинальних моментів, які відчуває міст у присутності різних транспортних засобів. Однак, згідно з офіційним мексиканським стандартом NOM-012-SCT-2-2014 щодо ваги та максимальних

розмірів, з якими можуть рухатися транспортні засоби, що рухаються дорогами загального користування, їх вантаж можна класифікувати відповідно до класу (автомобіль, автобус, одиничне навантаження).). легковий, причіпний, причіпний тягач і двомісний тягач). На основі цієї класифікації було вирішено оцінювати навантаження на міст за координатами його руху за відсотком заповненості смуги руху автомобілями на мосту на момент вимірювання координат мосту.

У цьому розділі розглядатимуться методи класифікації транспортних засобів на основі зображень із камер, оброблених за допомогою штучного інтелекту та алгоритмів обробки зображень, щоб створити прецеденти для майбутньої системи штучного зору з високою роздільною здатністю та її інтеграції в систему оптичного сканування.

Гіпотеза, з якої почався проект, полягала в тому, що можна було розробити систему огляду для вимірювання динамічного навантаження, якому піддається місто, щоб співвіднести ефект фактичного навантаження зі зміщенням покажчика координат у мосту. Щоб знати, чи постраждала конструкція від обвалу, чи вона знаходиться в ситуації ризику обвалу.

Система бачення, яка була розроблена та впроваджена, є загальною для лабораторних випробувань з алгоритмом розробки сайту, який дозволяє багаторазово завантажувати файли на міст за допомогою цифрової обробки зображень руху мосту, надаючи набір даних як продукт та/або завантажуючи дані коду в реальному часі за одиницю часу.

Загальною метою цієї кваліфікаційної роботи було дослідження методів машинного зору для оцінки кореляції зміщення координат при різних навантаженнях мосту, це необхідно для подальшої розробки системи бачення для вимірювання динамічного навантаження транспортних засобів, що рухаються мостом у певний момент часу, щоб співвіднести його з координатним рухом мосту в цей момент часу.

У кваліфікаційній роботі вирішувалися наступні завдання:

- використання набору даних з різними варіантами навантаження мосту;

- вибір та впровадження алгоритму інтелектуальної обробки зображень для автоматичної класифікації даних тензодатчиків моста;
- оцінка параметрів, випадкове змішування даних для навчання та перевірки правильності та точності алгоритму класифікації;
- використання системи технічного бачення на платформі, яка включає збір даних про навантаження з мосту, їх класифікацію, а також етап реагування для кореляції даних про навантаження мосту з координатами руху мосту;
- визначення змінних середовища, які можуть вплинути на продуктивність системи технічного зору.

3 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 оптична скануюча система вимірювання переміщення виконує вимірювання просторових координат, щоб оцінити зміщення значень вимірювання координат і визначити, чи відбулося просторове зміщення в різних елементах конструкції. Принцип дії в основному базується на оптико-електронній скануючій апертурі, показаній на рис. 3.1, і метод динамічної триангуляції.

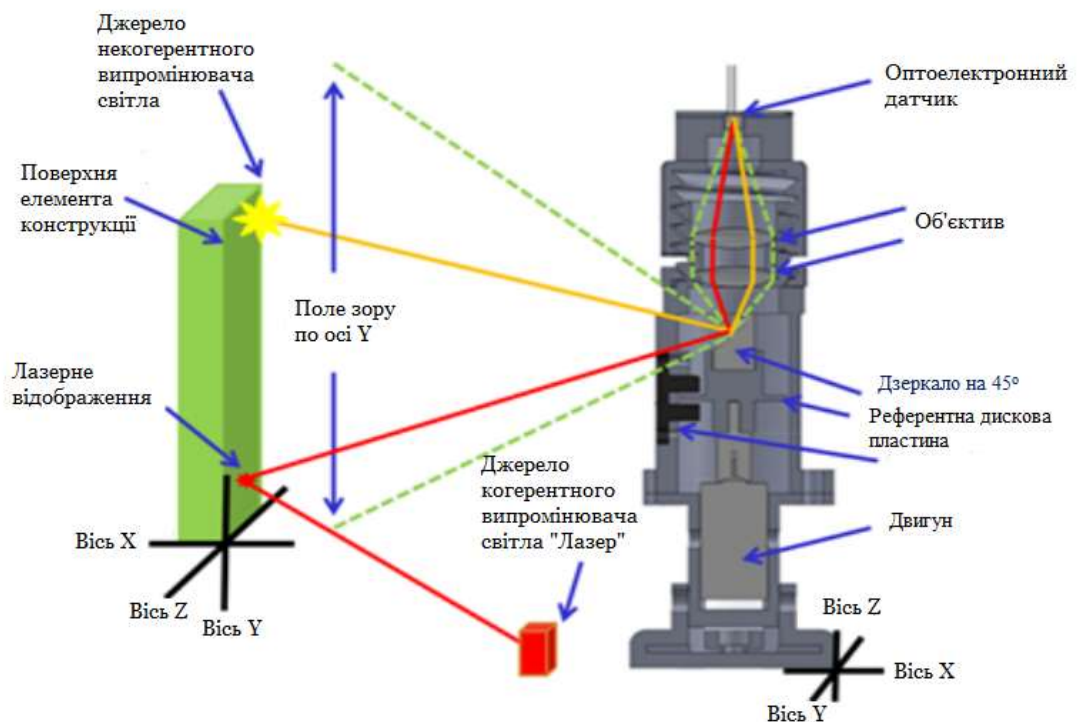


Рисунок 3.1 – Принцип роботи апертури оптико-електронного сканування

Систему можна налаштувати для виконання 2D або 3D вимірювань просторових координат. Навіть у базовій формі його можна налаштувати лише для вимірювання кутів. Система оптичного сканування може бути налаштована для роботи з джерелами некогерентного світла або з джерелом когерентного світла, таким як лазер. Некогерентне світло зазвичай використовується для вимірювань на великих відстанях (5 - 20 м), тоді як лазерне світло використовується для коротких і середніх відстаней (1 - 5 м).

3.1.2 Аналіз принципу роботи апертури оптоелектронного сканування

Розглянемо принцип роботи отвору оптико-електронного датчика та його основні частини. Він містить двигун постійного струму, який постійно обертається з певною частотою в приблизному діапазоні від 20 до 60 Гц. На валу двигуна встановлена дискова пластина з еталонною насічкою для вимірювання частоти обертання двигуна.

Коли положення виїмки на диску збігається з положенням оптоперемикача, приймач може виявити сигнал, який посиляє випромінювач, виробляючи імпульс із кожним обертотом, як показано на рис. 3.2, де $T_{2\pi}$, виражене (3.1), відповідає часу, необхідному для сканування, а f відповідає частоті сканування [34].

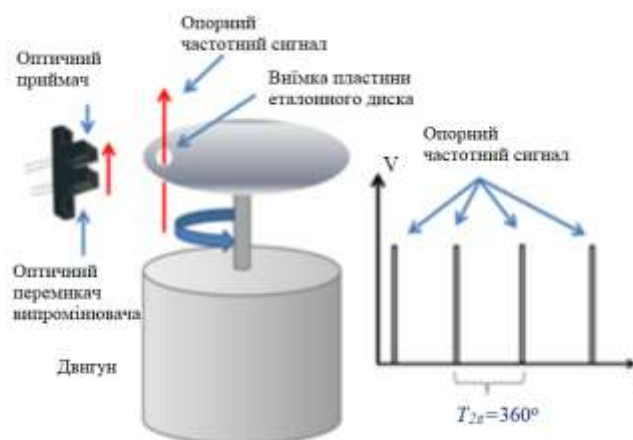


Рисунок 3.2 - Система для розрахунку частоти розгортки

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

Оптичний шлях формується дзеркалом під кутом 45°, яке обертається разом із обертанням двигуна під час процесу сканування для виявлення світлового випромінювання та, відповідно до закону відбивання, відображає його під кутом 90° через лінзи, які колімують світлове випромінювання в оптико-електронній пристрій [35-41]. Датчик, що перетворює світловий сигнал в оптико-електронний, 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 вимірних координат методом динамічної триангуляції [35-42].

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



Рисунок 3.3 – Оптико-електронний вид сигналу

Вибір оптоелектронного датчика та типу джерела світла для виявлення залежить від застосування для будь-якої налаштованої системи. Це включає вимірювання умов робочого середовища, таких як джерела оптичного шуму [38], температура [40], освітленість або темрява, місце сприйняття та

характеристики поверхні об'єкта. На основі цього вибору були виведені різні типи оптико-електронної обробки сигналів і схеми керування умовами вимірювального процесу [42-50]. Нижче наведено найдосконалішу конфігурацію для короткострокового та довгострокового структурного моніторингу стану.

Коротка відстань. Конфігурація системи оптичного сканування, яка також відображає систему технічної обробки зображень (TSI), виявилася надійною опцією в задачах PSMS, збалансовуючи точність і робочий простір на коротких відстанях (1 - 5 м). Однак він має обмеження для вимірювання 3D-координат під більш широкими кутами; Завдяки відбивній здатності лазера інтенсивність, яку може отримати фотоелектричний датчик, залежить від відстані та кута лазерного променя. На коротких відстанях обмеження можна виправити шляхом реалізації стратегії машинного навчання з використанням методів корекції вимірювань, але на великих відстанях фотоелектричний датчик не може сприймати відбитий лазерний сигнал [43].

Він структурований за допомогою лазерної указки та оптико-електронної скануючої апертури для отримання тривимірних координат за допомогою принципів динамічної лазерної тріангуляції, як показано на рис. (3.4). Де координата (x, y, z) обчислюється відповідно до (3.3) – (3.6), [49].

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

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

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

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

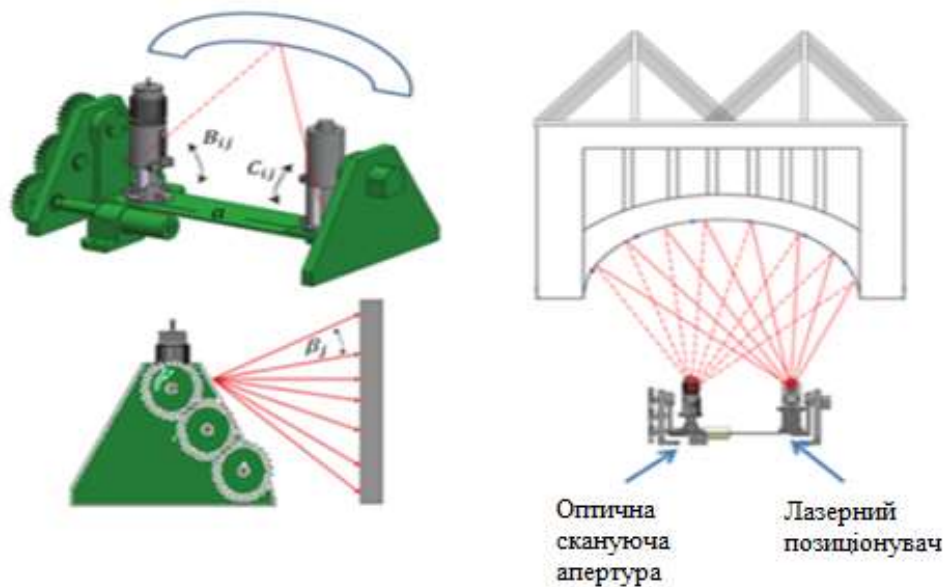


Рисунок 3.4 – Оптична система сканування на основі когерентного світлового випромінювання

Довга відстань. Це доведено як надійний варіант у задачах PSMS, пропонуючи баланс між точністю та робочою поверхнею на великих відстанях (5–20 м) [42]. Однак конструкція, фактично заснована на використанні його фотодіода, має обмеження для вимірювання тривимірних координат у середовищі з оптичним шумом; характеристики зовнішнього середовища з високою концентрацією сонячного світла, що призвело до застосування фотоелектричного датчика приблизно вдень між 10:00 ранку та 6:00 вечора (у Мехікалі, Британська Колумбія, Мексика, де проводилися експерименти, місце, відоме в усьому світі як місто, захоплене сонцем) [50]. Після порівняння різних типів фотоелектричних датчиків, таких як фотодіоди, фототранзистор, світлодіод (LED) як приймач, інфрачервоний світлодіод як приймач і навіть світлозалежний резистор (LDR), було виявлено, що використання світлодіода як фотоелектричного датчика, особливо ті, які працюють у компонентах довжини хвилі синього світла (427-476 нм) [43], можна відрізнити шум від

сонячного світла за допомогою цифрових фільтрів, таких як кінцева імпульсна характеристика та фільтр Савицького-Холі, які дозволяють системі працювати у складних умовах світлового забруднення. [14]. Крім того, обчислювальні методи, засновані на класифікації шаблонів, такі як лінійний дискримінантний аналіз (LDA) і лінійна регресія (LR), можуть бути використані для класифікації різних ізольованих джерел світла, щоб відрізнити ті, що не представляють інтересу [51].

На відміну від STZ, SOS має дві оптико-електронні сенсорні апертури замість лазерного позиціонера та оптико-електронної сенсорної апертури. Як індикатори використовуються джерела світла. Джерела випромінювання світла розміщуються в різних точках конструкції, а потім обидві оптоелектронні скануючі апертури сканують поле зору та забезпечують значення кутових вимірювань B_{ij} і C_{ij} у певній площині, визначеній β_j , щоб застосувати принцип динамічна триангуляція для обчислення координати (x, y, z) відповідно до (3.3)–(3.6), як показано на рис. (3.5) [52].

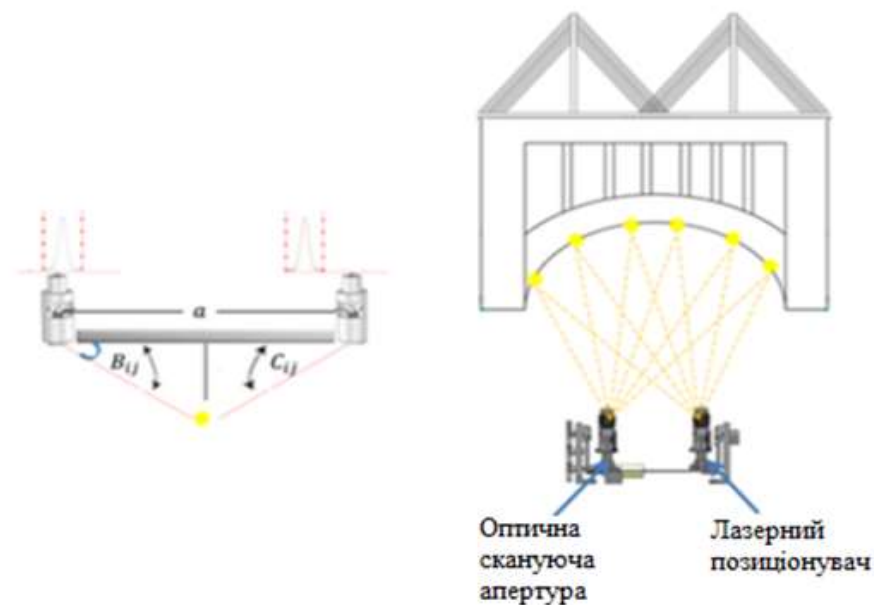


Рисунок 3.5 – Оптична система сканування для ПСМС на основі некогерентного світлового випромінювання

Одну або декілька систем СОС можна використовувати для моніторингу конструкцій у будь-якій із описаних конфігурацій, але в обох випадках, щоб додати до моніторингу мостів ПСМС, для вимірювання навантаження на міст на певному етапі її потрібно доповнити системою, для вимірювання моменту в необхідних просторових координатах. Конструкції конструкції вимірюються, щоб співвіднести зсув мосту з ефектом транспортного потоку та взаємодії мосту.

3.2 Методи, що базуються на кореляції даних двох вимірювальних систем

Важливу роль у запобіганні катастрофічним обвалам відіграє моніторинг стану конструкцій мостів. Однак будь-яке застосування стану мостів через їх зношеність є нелегким завданням, і хоча інші сенсорні та системні системи (акселерометри, тензометри, системи оптичного сканування, лазерні, волоконно-оптичні системи тощо) застосування в певній структурі може вимагати або приносити користь. від впровадження більш ніж одного типу датчика та/або системи.

Впровадження більш ніж одного типу датчика та/або системи в мосту моніторингу може передбачати об'єднання або кореляцію даних від різних датчиків та/або систем. Нижче описані методи кореляції, запропоновані для всього навантаження мосту зі зміщенням його координат. Слід уточнити, що експериментальні результати цієї кореляції не представлені, оскільки в рамках даного дипломного проекту була розробка системи класифікації зображення навантаження на міст. Таким чином, після встановлення наступальних систем, призначених для вимірювання руху та навантаження на пошкодження трафіку, протягом тривалого періоду часу їх можна співвідносити та порівнювати з «традиційними» перевітками та оцінками, щоб встановити нормальну поведінку мосту та поведінку, яка вказує на що воно знає. обмеження [66] [67].

3.2.1 Метод множинної регресії/кореляції

Множинна регресія/кореляція (MRC) — це загальна система аналізу даних для вивчення зв'язку між двома або більше змінними. Це дуже гнучкий метод, який можна використовувати для аналізу зв'язків між простими та складними, якісними чи кількісними змінними, і в той же час дозволяє включати методи для роботи з втраченими або пошкодженими (ненормальними) даними, він вважається точним і універсальний метод, який можна застосовувати до різних типів даних з різних програм.

Хоча його також можна використовувати для прогнозування, щоб передбачити результат на основі даних, попередньо зібраних під час процесу кореляції змінних. Однак у цьому розділі ми зосередимося на методах кореляції.

3.2.2 Метод кореляції двох змінних (коефіцієнт Пірсона)

Коефіцієнт кореляції Пірсона є мірою лінійної залежності між двома випадковими величинами. На відміну від коваріації, кореляція Пірсона не залежить від діапазону вимірювання змінних. Коефіцієнти кореляції Пірсона можна використовувати як індекс для вимірювання ступеня зв'язку між двома змінними, коли обидві є кратними та безперервними. Якщо залежність між елементами не лінійна, то коефіцієнт вказано неправильно.

Коефіцієнт кореляції може змінюватися від +1 до -1. Значення 0 означає, що між двома змінними немає зв'язку. Значення більше 0 вказує на позитивний зв'язок. Це означає, що коли значення однієї змінної збільшується, значення іншої зменшується. Значення менше 0 вказує на негативну асоціацію; тобто зі збільшенням значення однієї змінної значення іншої зменшується.

Однією з перших проблем, яку потрібно вирішити за допомогою індексу ступеня асоціації між двома змінними, є проблема одиниці вимірювання.

Якщо дві змінні традиційно виражаються в різних одиницях, потрібні деякі засоби перетворення оцінок в одиниці вимірювання. Така шкала вимірювання повинна бути інтервальною або пропорційною. Змінні мають бути приблизно розподілені. Асоціація повинна бути лінійною. Дані не повинні містити викидів, що вимагається для перших завдань, які вимірюються за допомогою індексу ступеня зв'язку між двома змінними.

Якщо дві змінні традиційно виражаються в різних одиницях, потрібні деякі засоби перетворення балів в одиниці вимірювання. Такою шкалою вимірювання має бути інтервальна або шкала відношень. Змінні мають бути приблизно розподілені. У даних не повинно бути викидів.

Коефіцієнт кореляції Пірсона див. 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. Тоді як його інтерпретація описана в таблиці (3.1).

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

Таблиця 3.1 – Аналіз коефіцієнта Пірсона

Критерії кореляції	Пояснення
Кореляція <0	Якщо кореляція менша за нуль, це означає, що вона негативна, це означає, що змінні обернено пропорційні. Коли значення однієї змінної високе, то значення іншої змінної низьке. Чим ближче до -1, тим більш виражена екстремальна коваріація. Якщо коефіцієнт -1, ми маємо на увазі ідеальну негативну кореляцію.
Кореляція >0	Якщо кореляція +1, це означає, що вона абсолютно позитивна. Тобто, кореляція позитивна, тобто змінні прямо корельовані. Коли значення однієї змінної високе, то значення іншої також високе, і те саме відбувається, коли вони низькі. Якщо він наближається до +1, коефіцієнт буде коваріацією.

Кореляція =0	<p>Коли кореляція дорівнює нулю, це означає, те, що значущість коваріації не може бути визначена. Однак це не означає, що між змінними немає нелінійного зв'язку.</p> <p>Коли змінні незалежні, це означає, що вони корельовані, але це не означає, що це правда.</p>
--------------	---

3.2.3 Метод кореляції двох змінних (коефіцієнт Спірмена)

Кореляційний метод Спірмена оцінює монотонне співвідношення між двома неперервними або порядковими змінними. У монотонному зв'язку змінні мають тенденцію змінюватися одночасно, але не обов'язково з постійною швидкістю. Коефіцієнт кореляції Спірмена базується на оцінених значеннях кожної змінної, а не на вихідних даних. Кореляція Спірмена часто використовується для оцінки зв'язків, що включають порядкові змінні.

Коефіцієнт кореляції Спірмена є непараметричним показником рангової кореляції (статистична рангова залежність між двома змінними). Він вимірює силу та 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 .

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

Коефіцієнт Спірмена може приймати значення від +1 до -1, де значення +1 означає ідеальний зв'язок між діапазонами, значення 0 означає відсутність зв'язку між діапазонами, значення -1 означає ідеальний негативний зв'язок між діапазонами. діпазонами. Коли значення наближається до 0, зв'язок між двома діапазонами слабшає. Важливо відзначити, що якщо одна змінна зростає, інша стає монотонною.

3.2.4 Порівняльний аналіз коефіцієнтів Пірсона і Спірмена

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



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

Коефіцієнт Спірмена залишається рівним $+1$ (рис. 3.7), за умови, якщо залежність така, що одна змінна зростає одночасно з іншою, але значення не є постійним, коефіцієнт кореляції Пірсона додатний, але менше $+1$.

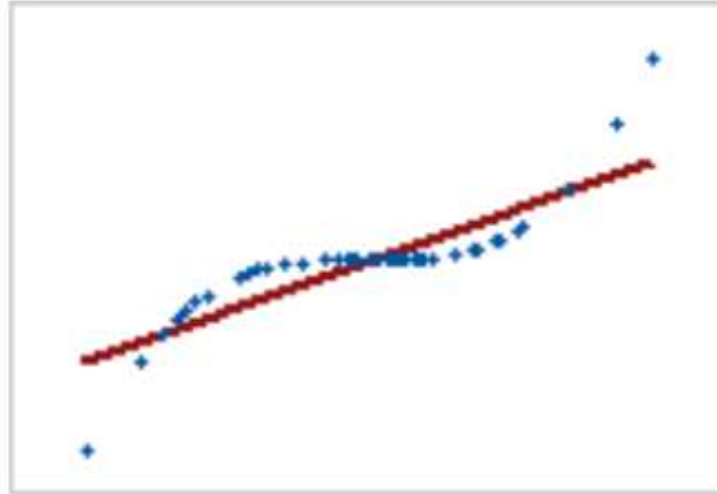


Рисунок 3.7 – Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Пірсон = +0,851,
Спірмен = +1)

Обидва коефіцієнти кореляції близькі до нуля (рис. 3.8), за умови коли зв'язок є випадковим або відсутнім,.

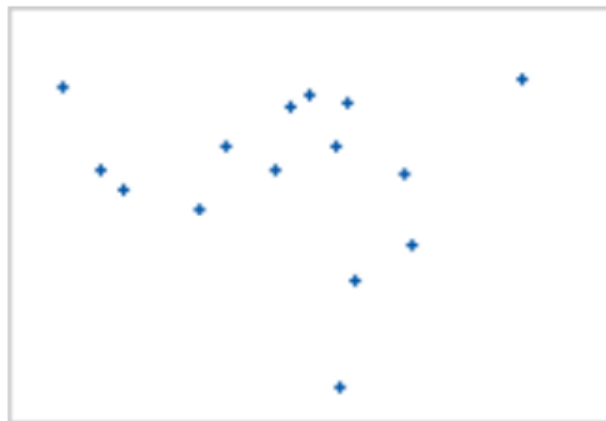


Рисунок 3.8 – Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Пірсон = -0,093,
Спірмен = -0,093)

Обидва коефіцієнти кореляції дорівнюють -1 (рис. 3.9), за умови що зв'язок є ідеальною лінією для спадної залежності.

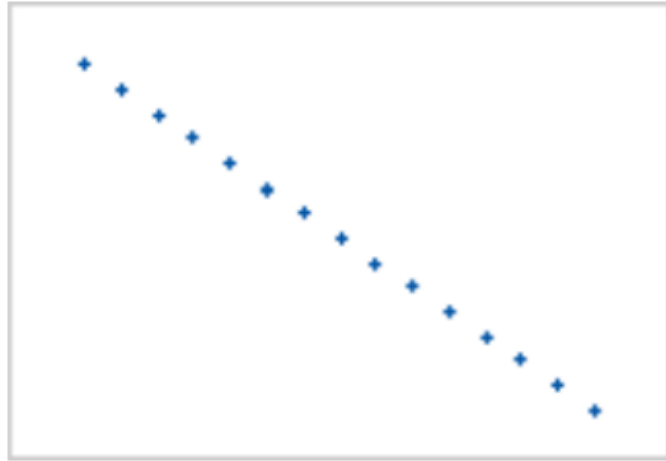


Рисунок 3.9 – Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Пірсон = -1 ,
Спірмен = -1)

коефіцієнт кореляції Пірсона є від'ємним, але перевищує -1 , за умови, що залежність така, що одна змінна зменшується, коли інша збільшується, але величина не є постійною, при цьому варіанті коефіцієнт Спірмена залишається рівним -1 (рис. 3.10).

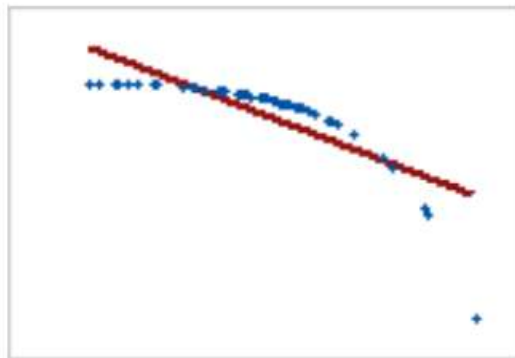


Рисунок 3.10 – Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Пірсон = $-0,799$,
Спірмен = -1)

Точне лінійне співвідношення буде лише тоді, коли значення кореляції -1 або 1 означає, наприклад між радіусом колеса та довжиною колеса. Однак справжня цінність кореляційних значень полягає в кількісному визначенні зв'язків, які не є ідеальними. Знання того, що дві змінні корельовані, часто

корисно для регресійного аналізу, який намагається описати цей тип зв'язку більш детально.

Значущий зв'язок може існувати навіть тоді, коли коефіцієнти кореляції дорівнюють 0 (рис. 3.11), що свідчить про дуже сильний зв'язок. Коефіцієнти Пірсона і Спірмена приблизно дорівнюють 0. За умови, що коефіцієнти кореляції Пірсона вимірюють лише лінійні залежності, а коефіцієнти кореляції Спірмена вимірюють лише монотонні зв'язки.

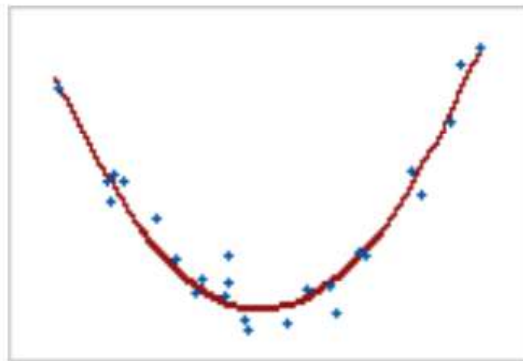


Рисунок 3.11 - Порівняння коефіцієнтів Пірсона і Спірмена (Коефіцієнти 0)

4 ОЦІНКА КОРЕЛЯЦІЇ ЗМІЩЕННЯ КООРДИНАТ ПРИ РІЗНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ МОСТУ

4.1 Методи оцінки взаємодії транспортного засобу з мостом

При оцінці пошкодження мосту висновки робляться на основі аналізу даних, отриманих від подій ВТСМ, наприклад, використовуючи реакцію на прискорення, коли частотний і амплітудний аналіз даних про вібрацію використовується для виявлення пошкодження локальної тріщини [52]. Але в інших випадках дані подій ВТСМ співвідносяться з іншими вимірюваннями моста, як у [53], де клінічний метод використовується для вимірювання збудження імпульсу ВТСМ, який корелюється з відповіддю моста. Або як у [54] та [55], де положення транспортних навантажень та історія навантажень враховуються під час процесу кореляції з вертикальним переміщенням мосту. Оскільки транспортне навантаження на мости є важливим параметром у задачах ПСМС, [56] представлено огляд та класифікацію статей, присвячених методам моніторингу стану здоров'я на основі класифікації транспортних засобів на мостах, з яких визначається класифікація на основі систем бачення.

Методи на основі зору розглядаються як застосування технології інтелектуального зондування в ПСМС. Вони сумісні з розумними та роботизованими датчиками, цифровими камерами, смартфонами, дронами та обчислювальними алгоритмами. Навантаження можна виявити за допомогою стаціонарного датчика, через зону моніторингу, через глобальне опитування або гібрид цих методів. Попередню роботу, найбільш пов'язану з розробкою цієї статті, можна знайти в [57], де пропонується метод ПСМС для мостів, заснований на кореляції двох систем на основі зору (камер), одна для виявлення навантаження транспортного засобу, а інша для мостів . , щодо детальної перевірки систем моніторингу мостів на основі видимості [13].

4.2 Обчислювальні моделі - класифікатори навантаження мостів при оцінці впливу транспортного засібу на міст

В процесі роботи було розроблено різні методи для виявлення транспортних засобів у відеоданих із камер зовнішнього спостереження, більшість із них – для оцінки швидкості та розподілу щільності транспортних засобів, а інші – для відстеження проїзду транспортних засобів.

Далі були досліджені різні підходи для вибору відповідного методу для розробки класифікатора навантажень мосту в ході розробки системи на основі візуалізації, призначеної для кореляції тривимірних координатних переміщень мосту.

Для класифікування навантаження на міст із використанням обробки зображень із відеоданих дорожнього руху потребує алгоритмів комп'ютерного зору для отримання інформації про транспортні засоби, що міститься на відеозображеннях, а також процесу вибору найкращого положення камери для різних сценаріїв, пов'язаних із вибором підходу до обробки зображень. Використано певний набір даних для створення конкретної програми моніторингу. Для додатків, які потребують інформації в реальному часі, постійно розробляються ефективні та недорогі методи обробки зображень, і потрібна надійна робота в змінних умовах навколишнього середовища.

Щоб знайти надійний алгоритм із продуктивністю за змінних умов навколишнього середовища, для вирішення цього завдання було обрано два підходи. Підхід, заснований на самонавчанні з використанням машинного навчання з використанням алгоритму, який використовує «Big Data», що є найдосконалішим глибоким навчанням нейронних мереж (Deep Learning), а другий класичний і простий підхід, заснований на т.зв. називається реєстрацією зображень без доступу до навчальної машини і, звичайно, з дуже низькою обчислювальною вартістю.

4.2.1 Класифікації навантажень моста методом глибокого навчання

Широке використання методів глибинного навчання в різних додатках, дуже актуально та на часі. Щодня розробляються нові моделі нейронних мереж глибокого навчання, щоб покращити розуміння зв'язку між нелінійними багатовимірними характеристиками в зображеннях, особливо для цілей класифікації.

Це дуже необхідний інструмент, що може автоматизувати класифікацію навантажень мостів [58].

Нейронна мережа — це математична модель, змодельована на основі нейрофізіологічних моделей, які описують функції людського мозку за допомогою мільярдів нейронів, розташованих у ієрархічній структурі шести різних шарів кори головного мозку людини, з'єднаних з іншими нейронами, які передають, обробляють і зберігають через синапси і зв'язки в нейронах є постійними в процесах пластичності для навчання. Кодування синапсу та спрощені процеси нейронної пластичності є основою для формулювання математичної моделі нейронної мережі, вираженої співвідношеннями (4.1) – (4.2) для кожного нейрона, де $x_{i=1:n}$ – кожен нейрон. А один з n нейронних вхідних даних - $w_{i=1:n}$ відповідно їх синаптичні ваги, зважена сума нейронних вхідних даних це - ξ . Функція активації σ оцінюється як ξ не дивлячись на те, що y — вихід нейрона.

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

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

Для досягнення точності та ефективності дуже важливий правильний вибір σ , це визначає можливості зближення нейронної мережі. Функція активації, що дуже поширені 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, що виражаються в (4.5) з дуже високою точністю класифікації [44].

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

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

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

Так як архітектура нейронної мережі визначається кількістю нейронів і їх взаємозв'язком (вхідний, прихований і вихідний шари). У прихованих шарах поширюються сигнали, які визначають стан нейронів і вагу взаємозв'язків, які визначають конфігурацію нейронної мережі. Найбільш популярною є нейронна мережа прямого зв'язку (NN), де вихід одного шару використовується як вхід для наступного шару; Повторювані нейронні мережі (RNN), де вихідні дані шару циклічно повертаються, цей процес може створити «короткочасну пам'ять» або «довгострокову короткочасну пам'ять», також відому як зворотне поширення; згорткові нейронні мережі (CNN), де три рівні виконують три різні завдання: згорткова (вхідні дані аналізуються за допомогою фільтрів для створення карти функцій), кластеризація, відома як «об'єднання» (розмір карти функцій зменшується) і повністю зв'язана, відома як повністю зв'язаний (вирівнює карти разом і порівнює ймовірність появи кожного елемента з іншими, доки не буде визначено найкращу класифікацію). Усі ці багат шарові конфігурації, глибокі нейронні мережі (DNN), визначаються як моделі глибокого навчання, виражені гіперпараметрами, кількістю прихованих шарів, функцією активації та кількістю ітерацій навчання (епохи).

Як правило, DNN має від 2 до 8 додаткових шарів нейронів. Різні типи нейронних мереж є основою глибокого навчання, нейронної мережі, точність якої зростає зі збільшенням кількості прихованих шарів. Цей процес перетворює нейронну мережу на глибоку нейронну мережу, яку також називають підходом глибокого навчання. Порівняння традиційних нейронних мереж з новими нейронними мережами, особливо для завдання, яке передбачається в цій роботі, яке складається з класифікації зображень, пов'язане з ефективністю процесу, кореляцією та розумінням великих обсягів даних високої роздільної здатності. Покажіть їх роздільну здатність для спрощення, виділення ознак і класифікації. Нові конструкції нейронних мереж розробляються для вирішення проблем, властивих традиційним нейронним мережам, таких як групування параметрів, яке створює складні моделі, які важко конфігурувати та налаштовувати через високі вимоги до обчислень. Основна відмінність між традиційними нейронними мережами полягає в тому, що вони засновані на повністю пов'язаній архітектурі, тоді як у нових нейронних мережах нейрони одного шару не з'єднані з усіма нейронами наступного.

4.2.2 Процес реєстрації зображення

Класичний метод — це реєстрація зображень [46], який продовжує існувати в сучасному середовищі та використовується в різних програмах із застосуванням підходів до обробки зображень [56], деякі приклади — обробка зображень для аналізу тіла та медичної діагностики [57], видалення фону зображення [56-59], реконструкція 2D і 3D моделей [58], виявлення та відстеження рухомих об'єктів [59-60], як і в запропонованій роботі.

Для порівняння двох або більше зображень з різних джерел, часів або точок зору, ви можете використовувати методи реєстрації зображень. Для видалення варіацій зображення, для визначення цілі на зображенні чи порівняння двох зображень статичної сцени.

В ході роботи розроблено різні методи реєстрації зображень, щоб знайти стратегію отримання задовільних результатів, у більшості випадків кожен метод розроблено для конкретного застосування. Однак більшість методів включають виявлення ознак, відображення ознак, оцінку моделі трансформації, повторну вибірку, трансформацію зображень тощо. Порівняння двох зображень вимагає трансформації, оскільки їх потрібно вирівняти, щоб виявити відмінності. Перше зображення збігає свою точку з другим зображенням. Ці зображення, як правило, довгі, і мета полягає в тому, щоб знайти й оцінити зміни сцени між двома зображеннями. Зміна визначається різницею інтенсивності (інтенсивності) і розташування пікселів.

Реєстрацію зображення можна визначити як процес перетворення, який вирівнює зображення до певної системи координат. Результатом є відображення між двома зображеннями, яке поєднує просторові та інтенсивні відмінності. Зображення виражаються у вигляді двовимірної матриці $I_1(x, y)$ та $I_2(x, y)$, пов'язаних (4.6), де f — двовимірне перетворення просторової координати для відображення вихідних координат (x, y) у нові просторові координати (x', y') , як зазначено в (4.7), а g — одновимірне перетворення інтенсивності для визначення різниці між двома координатами зображення в результаті реєстрації процесу.

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

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

Основними параметрами кожного методу реєстрації зображень є параметри, пов'язані з підходом до просторового перетворення, такі як жорсткі, афінні, проєктивні та глобальні поліноми. Таким чином, найбільш поширеними є афінне перетворення (яке включає декартові операції трансляції, повороту, масштабування, розтягування та зсуву), лінійне перетворення t_x (4.9), і t_y , (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).

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

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

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

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

Для цього, можливо, є інший спосіб зробити це (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, його можна виразити через (4.13) у загальному двовимірному вигляді або у вигляді, вираженому в (4.14) через однорідні координати. Розглядаються наступні геометричні перетворення: трансляція, поворот, масштаб, розтягування та розрізання, ці перетворення мають шість параметрів: параметри θ_2 і θ_5 для трансляції, параметр θ_0 для обертання агрегату, параметр θ_1 для масштабування, параметр θ_3 для розтягування і параметр 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 Створення класифікації навантажень мосту

Базуючись на підході глибокого навчання з архітектурою, було розроблено класифікатор навантаження на міст, який показано в таблиці 4.1. Набір даних було розділено на 75% для тренувань і 25% для тестування, тоді як навчання було розділено на 75% для навчання та 25% для міжсезонної перевірки. По-перше, найкраща конфігурація позиціонування камери спостереження була оцінена за допомогою Стенфордського набору даних [62], який надає зображення різних типів транспортних засобів у різних середовищах і з різною орієнтацією; де було визначено чотири класи, вид спереду, вид ззаду, вид збоку та кутовий вид, на основі цієї попередньої оцінки з чотирма класами було виявлено, що чим більша площа, яку займає транспортний засіб, тим кращі результати точності [69].

У результаті було додано п'ятий клас наборів шрифтів на основі показаних фотографій, отриманих на кордоні Нижньої Каліфорнії, Мексика. Стенфордський набір даних про автомобілі спочатку містить 16 187 зображень 197 класів транспортних засобів. Дані розділені на 8145 навчальних зображень і 8040 тестових зображень, причому кожен клас поділено приблизно на 50-50. Заняття найчастіше проводяться на рівні марки, моделі, року випуску, року випуску. Однак для цілей цього експерименту його було перекласифіковано за класом автомобіля (вид спереду, вид ззаду, вид збоку та кутовий вигляд) і доповнено новим видом класу з більшою площею (вид зверху), як показано в таблиці (4.2).). Зверніть увагу, що 15935 зображень було отримано з набору даних Stanford CARS, а 250 зображень було проаналізовано, оскільки вони не відповідали жодному класу.

Таблиця 4.1 – Вихідна форма структури моделі CNN

Тип шару	Вихідна форма
Conv2D	(Жодного, 100, 100, 32)
Dense	(Жодного, 32)
Dense	(Жодного, 5)
Dropout	(Жодного, 50, 50, 32)
Dropout	(Жодного, 32)
Flatten	(Жодного, 80000)
LeakyReLU	(Жодного, 100, 100, 32)
LeakyReLU	(Жодного, 32)
MaxPooling	(Жодного, 50, 50, 32)

Таблиця 4.2 – Опис набору даних

Позначка класу	Опис	Приклад зовнішнього вигляду класу 1	Приклад зовнішнього вигляду класу 2	Приклад зовнішнього вигляду класу 3	Кількість зображень
1 клас	Вид спереду				733
2 клас	Вид ззаду				275
3 клас	Вид збоку				1020
4 клас	Вид нахилу				13907
5 клас	Вид зверху				250

Оскільки зображення відповідають різним середовищам, кожне зображення має різне співвідношення сторін, що вимагає попередньої обробки, щоб змінити його розмір до 100 пікселів у ширину та 100 пікселів у висоту в звичайному режимі кадрування (середньозважений фокус кадрування). Архітектура алгоритму глибокого навчання була розроблена на Python з використанням бібліотеки Keras, що працює на TensorFlow, із використанням загальної блок-схеми, показаної на малюнку 4.1. Досягнута точність навчання, валідації та тестування становила 88,32%, 89,41% і 87,96% відповідно, тоді як результати в класі наведено в таблиці 3, де оцінки точності (P), відновлення (R) і F (F) є. Розраховується згідно (4.15) - (4.17). Де точність – це здатність моделі визначати точність, це відсоток правильних позитивних прогнозів, TP – істинний прогноз, а FP – хибний прогноз. Відновлення – це відсоток справжніх позитивних результатів серед усіх відповідних базових істин, FN – це непередбачувана базова істина. F-оцінка — це лінійна комбінація точності та запам'ятовування, яка має єдине значення продуктивності для ранжирування методу.

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

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

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

Таблиця 4.3 – Результати роботи мережі

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

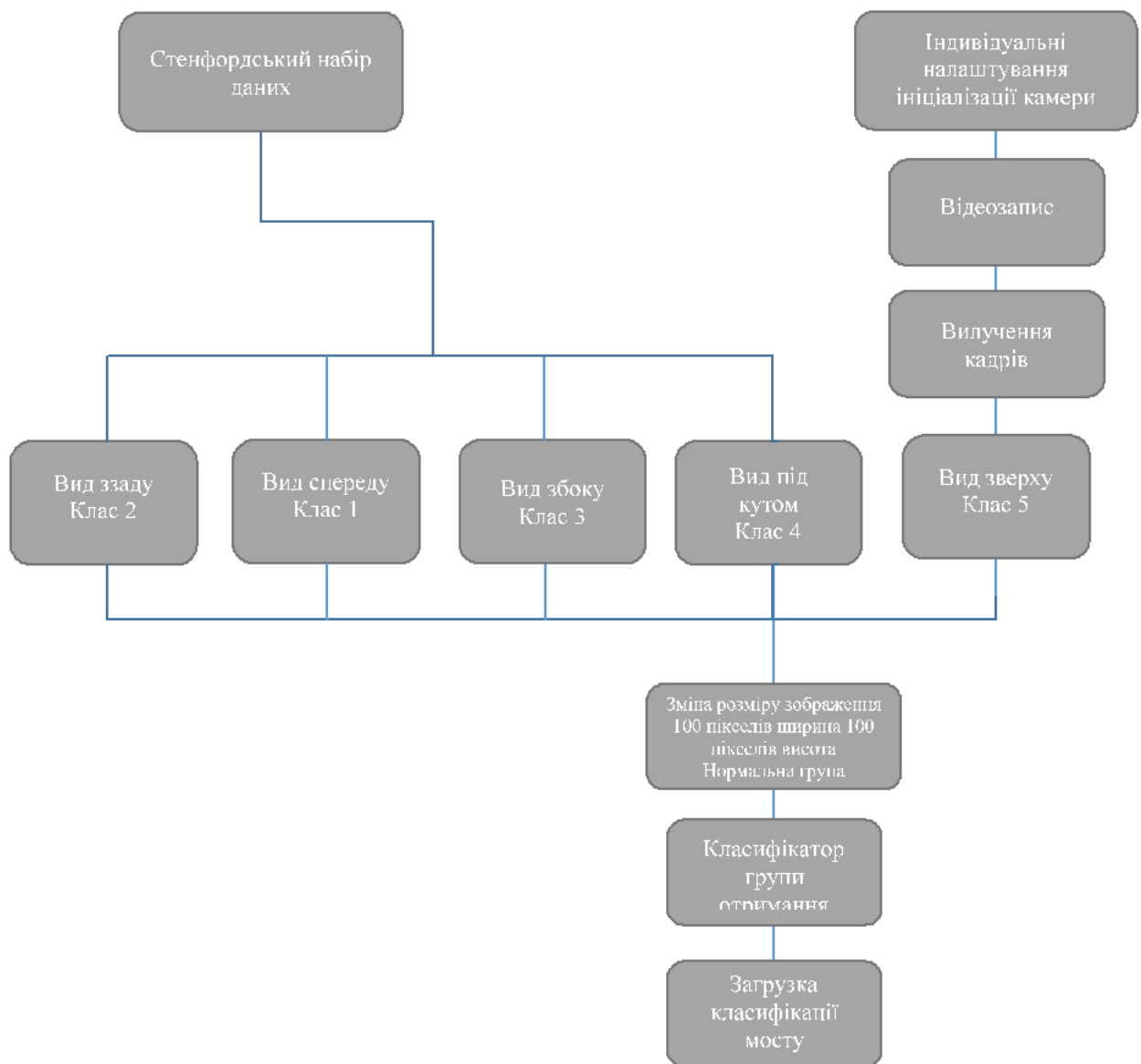


Рисунок 4.1 - Загальна схема процесу глибокого навчання

Таким чином у роботі розглядається класифікатор навантаження на основі глибокого навчання. Завдяки глибокому навчанню функції можна автоматично витягувати з попередньо оброблених даних. Структура запропонованої глибокої мережі та продуктивність запропонованого методу були оцінені на основі поєднання існуючих і спеціальних даних, зібраних у новому наборі даних.

У рамках запропонованого підходу до комп'ютерного зору розроблена модель дозволяє класифікувати зображення з відеоданих відповідно до

відсотка навантаження транспортного засобу на смугу автомобільного мосту. Припустимо, камера нерухома. Його призначення – виявлення транспортного засобу як об’єкта та розрахунок відсотка зайнятості виявленим транспортним засобом певної ділянки смуги руху. Початковий кадр без рухомих об’єктів вибирається для відображення статичного фону для подальшого запису зображень рухомих кадрів, щоб визначити відмінності між ними та обчислити кількість пікселів, які змінилися з нерухомого кадру на рухомий кадр, як описано в розділі рис. 4.2. Сорок вісім зображень траєкторії транспортного засобу на бажаній ділянці смуги були оцінені зі 100% точністю, з яких було виділено по два зображення кожного класу, щоб представити результати в таблиці 4.4.

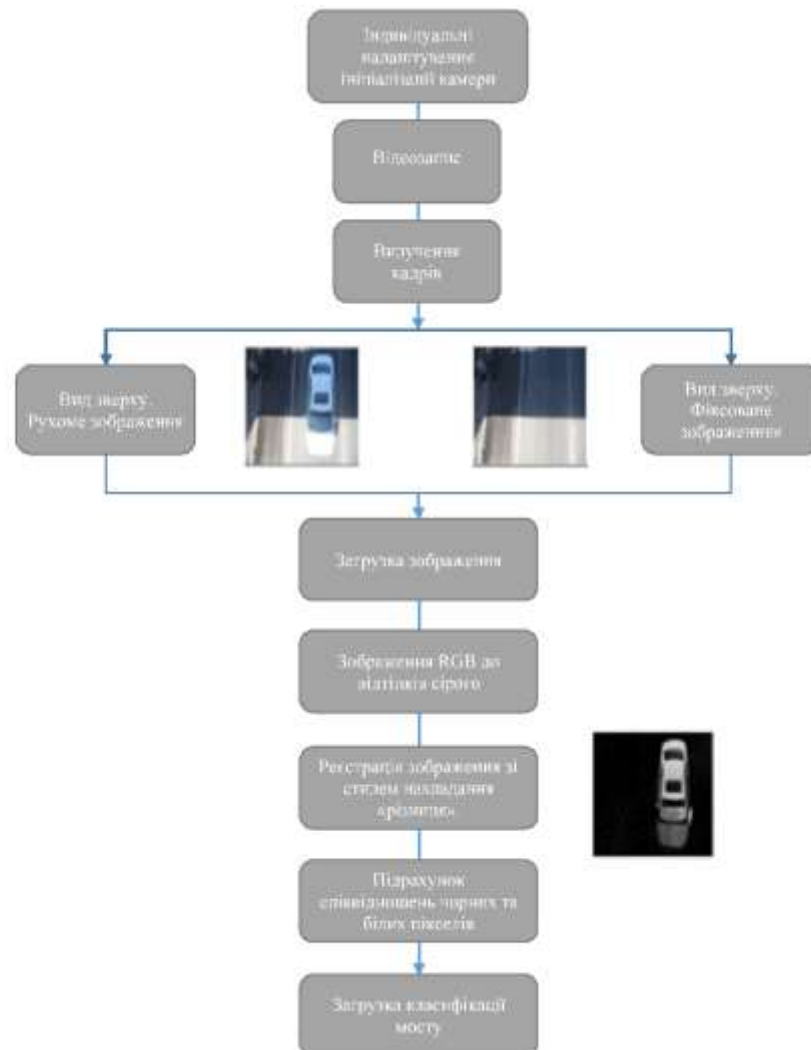
























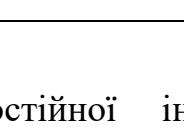
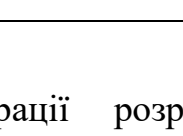
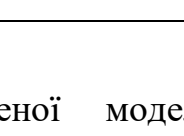
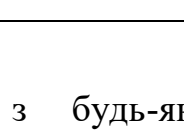
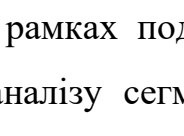
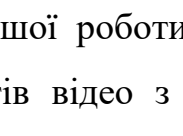
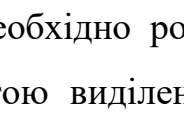
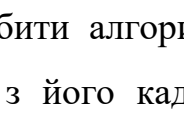


Рисунок 4.2 - Загальна блок-схема реєстрації зображення

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.				
				

Для самостійної інтеграції розробленої моделі з будь-яким середовищем, в рамках подальшої роботи, необхідно розробити алгоритм автоматичного аналізу сегментів відео з метою виділення з його кадрів рухомих об'єктів, які будуть сегментовані з фону в порядку. створити статичне зображення. фотопробіг розробленої моделі.

ВИСНОВКИ

Для виконання завдань моніторингу характеристик мостів, розуміння статичної нестабільності мостів через їх взаємодію з транспортними засобами є обов'язковим, навантаження мосту, яке є дуже важливим параметром щодо вимірювання переміщення точки мосту. Вимірювання динамічного навантаження транспортних засобів, які в даний момент рухаються по мосту, з метою кореляції з переміщеннями координат мосту в даний момент часу, тобто оцінки кореляції зі зміщенням координат мосту під час його деформації. Оцінка цієї кореляції необхідна, щоб перевірити, чи спостережуване зміщення мосту є наслідком характеру його експлуатації чи його структурного пошкодження.

Спосіб безперервного моніторингу стану мостової конструкції на основі системи безконтактного оптичного сканування, яка використовується для вимірювання обраних просторових координат на конструкції з одночасним розрахунком переміщень обраних конструктивних координат протягом безперервного часу та розрахунку навантаження на запропонований міст.

У документі розроблено два методи класифікації навантаження на міст, один з яких базується на глибокому навчанні для класифікації різних транспортних засобів з різними налаштуваннями спостереження, з недоліком підходу глибокого навчання, пов'язаного з великою кількістю даних, необхідних для навчання моделі; і проста модель, заснована на реєстрації зображення для фіксованої верхньої камери для класифікації відсотка зайнятості визначеної ділянки смуги автостради. Обидва підходи призначені для порівняння та вибору найбільш підходящого для відеоспостереження, нового чи вже встановленого на кожному контрольованому об'єкті мосту. Методи не залежать від параметрів руху, таких як вага, навантаження на вісь, конфігурація осі, напрямок або швидкість транспортного засобу; вони залежать лише від положення автомобіля на мосту. Майбутня робота має бути

зосереджена на пошуку більш ефективних і менш дорогих методів обробки зображень із надійною роботою в інтенсивному трафіку та різноманітних умовах навколишнього середовища, а також на розробці методології кореляційного аналізу.

В кваліфікаційній роботі були вирішені наступні задачі:

- вибір контрольно-вимірювальних приладів датчиків для збору даних при навантаженні мосту.
- створення набору даних з різними варіантами навантаження моста.
- вибір і реалізація інтелектуального алгоритму та/або обробки зображень для автоматичної класифікації даних тензодатчиків моста.
- оцінка параметрів, випадкове змішування даних для навчання та перевірки правильності та точності алгоритму класифікації.
- впровадження системи технічного бачення на платформі, яка включає збір даних про навантаження з мосту, їх класифікацію, а також етап відгуку для кореляції даних про навантаження мосту з координатами руху мосту.
- визначення змінних середовища, які можуть вплинути на продуктивність системи технічного зору.
- розрахунок точності та прецизійності отриманих результатів.
- оприлюднення результатів кваліфікаційної роботи на різних конференціях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

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 fcd/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 IICMC 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 MollahCOCeini, 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., Kartashov V. Methods and Algorithms for Technical Vision in 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. Unda, 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.