

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Математична модель оцінки параметрів об'єктів  
для вирішення задач відеоаналітики

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПМ-22-5  
Бондар О.В.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма Системне програмування  
(повна назва освітньої програми)

Керівник: ас. Кравченко П.О.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних обчислювальних машин \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 «Комп'ютерна інженерія» \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)

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

Освітня програма \_\_\_\_\_ Системне програмування \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту \_\_\_\_\_ Бондарю Олегу Володимировичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Математична модель оцінки параметрів об'єктів для вирішення задач відеоаналітики \_\_\_\_\_

затверджена наказом по університету від “ 01 ” квітня 2024 р. № 257Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 15 червня 2024р.

3. Вхідні дані до роботи \_\_\_\_\_ 1) провести огляд алгоритмів обробки відеоряду;

\_\_\_\_\_ 2) провести огляд основних завдань, які вирішуються інтелектуальними системами з використанням відеодатчиків; 3) провести огляд та аналіз методів відеоаналітики для вирішення задачі виявлення об'єкта інтересу; 4) провести експериментальні дослідження виявлення об'єкта інтересу.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 1) огляд літератури за темою роботи;

\_\_\_\_\_ 2) аналіз предметної області;

\_\_\_\_\_ 3) вибір та обґрунтування методики дослідження;

\_\_\_\_\_ 4) проведення експериментальних досліджень;

\_\_\_\_\_ 5) висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_

Слайд-презентація – 20 слайд \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою роботи	02.04.24 - 08.04. 24	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	09.04.24 - 16.04.24	
3	Вибір інструментальних засобів	17.04.24 - 22.04.24	
4	Розробка моделей протоколів	23.04.24 - 06.05.24	
5	Проведення експериментів	07.05.24 - 23.05.24	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	24.05.24-03.06.24	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	04.06.24- 07.06.24	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	08.06.24- 12.06.24	

Дата видачі завдання 01 квітня 2024 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

доц. Лебедєв О.Г.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 63 с., 13 рис., 1 табл., 1 дод., 14 джерел.

АЛГОРИТМ, ВІДЕОАНАЛІТИКА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, УПРАВЛІННЯ РУХОМ, EMBEDDED SYSTEM.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження математичної моделі оцінки параметрів об'єктів для вирішення задач відеоаналітики.

У ході виконання кваліфікаційної роботи досліджується можливість виявлення та оцінки параметрів об'єктів стосовно систем відеоаналітики, а саме: аналіз даних, виявлення як об'єктів, що зупинилися, так і тих що рухаються, оцінки їх параметрів з використанням інтелектуального відеодатчика за різних умов спостереження. Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що досліджувана модель виявлення та оцінки параметрів об'єктів у послідовності відео буде застосована для реалізації інтелектуальних камер, що входять до складу embedded system. Це дозволяє скоротити витрати на канали передачі даних та обчислювальні сервери.

## ABSTRACT

Master's thesis: 63 pages, 13 figures, 1 tables, 1 appendices, 14 sources.

ALGORITHM, EMBEDDED SYSTEM, MATHEMATICAL MODEL,  
MOTION CONTROL, VIDEO ANALYTICS.

The purpose of the qualifying work is to study a mathematical model for estimating object parameters for solving video analytics problems.

During the qualification work, the possibility of identifying and assessing the parameters of objects of video analytics systems is explored. Namely, data analysis, identification of both stopped and moving objects, assessment of their parameters using an intelligent video sensor under various observation conditions. The practical value of the results obtained is that the studied model for detecting and estimating the parameters of objects in a video sequence will be used to implement smart cameras that are part of the embedded system. This allows you to reduce costs for data transmission channels and computing servers.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП .....	8
1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У ЗАВДАННЯХ ВІДЕОАНАЛІТИКИ .....	10
1.1 Підходи у системі відеоаналітики .....	18
1.2 Аналіз завдань, які вирішуються за допомогою інтелектуальних відеодатчиків .....	23
2 ОГЛЯД АЛГОРИТМІВ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕРЕСУ ...	31
2.1 Детектори на основі різних принципів дії.....	31
2.2 Виявлення у задачі запобігання небезпечних ситуацій .....	37
3 ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕРЕСУ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ВІДЕОАНАЛІТИКИ .....	41
ВИСНОВКИ.....	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	50
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	53

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ  
І ТЕРМІНІВ

ІТС – інтелектуальна транспортна система

ОІ – об'єкт інтересу

РО – рухомий об'єкт

СВ – система відеоаналітики

СТА – система транспортної аналітики

ТА – транспортна аналітика

ТЗ – транспортний засіб

## ВСТУП

В даний час намітилася стійка тенденція, пов'язана з впровадженням систем відеоаналітики у різні сфери життя. Значний прогрес у цій галузі обумовлений появою дедалі досконаліших пристроїв отримання зображень, обчислювальних засобів і каналів комунікацій. Одними з перспективних та актуальних завдань, які вирішуються системами відеоаналітики, є:

- виявлення та простеження в заданій частині простору об'єктів інтересу (OI) або сторонніх об'єктів;
- виявлення несанкціонованого проникнення на об'єкти, що охороняються;
- підрахунок у реальному часі щільності автомобільного потоку.

З задачею оцінки параметрів об'єктів, що рухаються, стикаються при розробці embedded systems, обробці інформації та управління, зокрема систем комп'ютерного виявлення та супроводу об'єктів. Така задача властива і в галузі транспортної аналітики (ТА), що пов'язано з актуальною проблемою постійно зростаючої кількості транспортних засобів на дорогах. Відзначається недостатня безпека руху та наявність серйозних пробок на дорогах. В умовах зростання навантаження на велику дорожньо-транспортну інфраструктуру потрібні великі трудовитрати. Тому значну роль можуть відіграти системи транспортної аналітики (СТА), які здатні частково або повністю взяти на себе завдання аналізу дорожньо-транспортної обстановки. Системи транспортної аналітики є однією з найважливіших складових будь-якої інтелектуальної транспортної системи (ІТС). В даний час розвиток інтелектуальної транспортної системи є одним із пріоритетних напрямків еволюції транспортних систем у світі. Система відеоаналітики (СВ) дозволяє отримувати інформацію, яка може включати:

- кількість об'єктів, які рухаються в напрямках, що цікавлять;
- щільність потоку об'єктів;

- швидкість об'єктів;
- розміри об'єктів, тощо.

Фактично, без інформації, що отримується від систем транспортної аналітики, неможливе обґрунтоване прийняття рішень в інтелектуальній транспортній системі. Від точності, оперативності та повноти даних, що видаються системами транспортної аналітики, залежить ефективність роботи інтелектуальної транспортної системи в цілому.

Тому розробка математичних моделей оцінки параметрів об'єктів для вирішення задач відеоаналітики є актуальною науковою задачею.

## 1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У ЗАВДАННЯХ ВІДЕОАНАЛІТИКИ

В даний час, точність детектування транспортних засобів та оцінка їх характеристик недостатньо висока для вирішення перспективних завдань інтеграції транспортних засобів з комп'ютеризованим та безпілотним керуванням (рисунок 1.1).

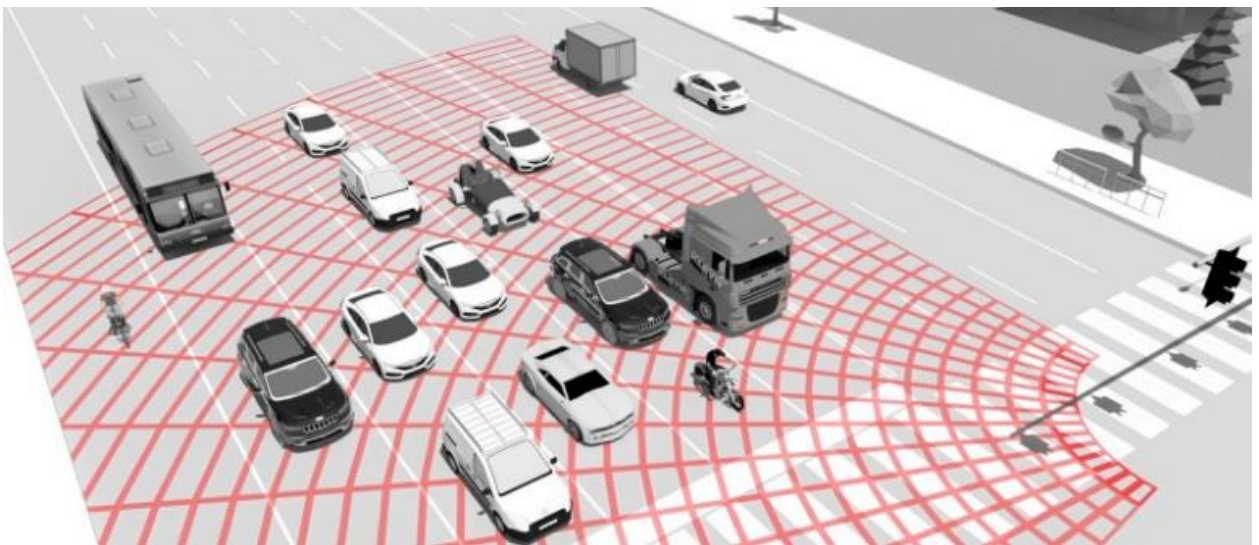


Рисунок 1.1 – Приклад детектування транспортних засобів

Головним завданням інтелектуальної транспортної системи є покращення дорожньої ситуації, що може досягатися різними способами (рисунок 1.2).

Технічні складові інтелектуальної транспортної системи, що вирішують різні підзавдання, можна поділити на 2 класи:

- комп'ютеризовані, в роботі яких бере участь людина-оператор, завдання якого може полягати, наприклад, у візуальному контролі ділянок доріг і перехресть, що спостерігаються, або людина може займатися

завданням транспортного моделювання, для чого необхідні статистичні дані, що збираються в автоматичному режимі;

- автоматичні, що повністю вирішують певні завдання, прикладом може бути адаптивна система світлофорів, яка, по-перше, аналізує дорожню ситуацію, по-друге, приймає рішення про зміну режиму роботи того чи іншого світлофора на перехресті.

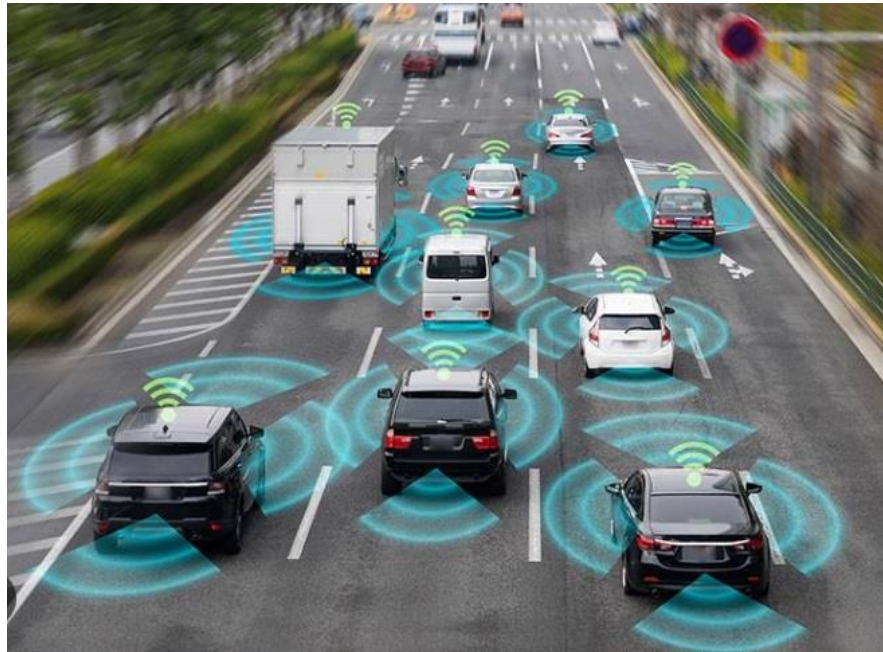


Рисунок 1.2 – Приклад інтелектуальної транспортної системи

Наукова проблема, що розглядається, полягає у необхідності значного покращення характеристик систем транспортної відеоаналітики на основі обробки інформації, яка надходить від відеодатчика у формі послідовності зображень (рисунок 1.3). Це завдання в інтелектуальній транспортній системі вирішується методами відеоаналітики. Це завдання призначене для автоматизованого збору необхідної інформації шляхом аналізу відеопотоку з використанням методів та алгоритмів цифрової обробки сигналів та зображень. У цьому випадку в якості необхідної інформації приймаються статистичні дані про транспортні потоки, що включають:

- кількість транспортних засобів;

- типи транспортних засобів;
- швидкість руху транспортних засобів;
- завантаженість окремо взятих смуг руху транспортних засобів;
- інформація про позаштатні ситуації, тощо.

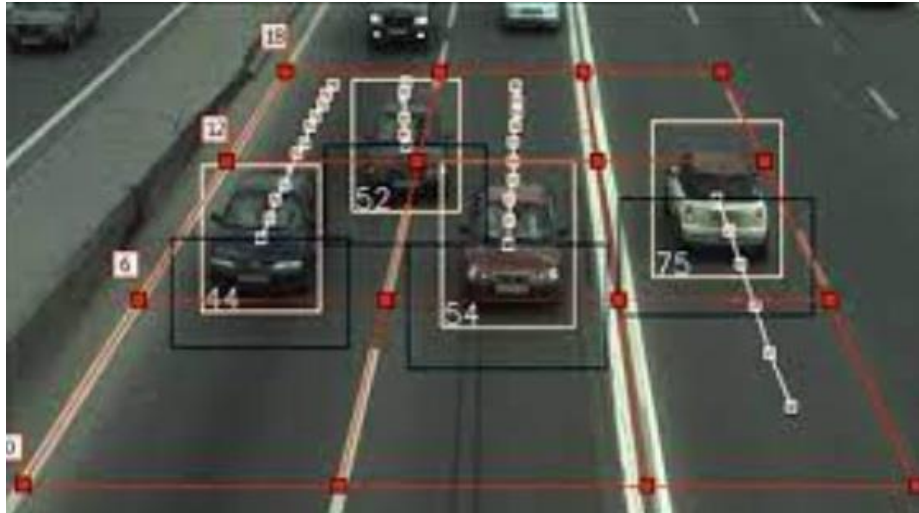


Рисунок 1.3 – Приклад транспортної відеоаналітики

У рамках кваліфікаційної роботи виконано огляд алгоритмів:

- виявлення;
- розпізнавання;
- простеження;
- оцінки параметрів об'єктів як основи для вирішення сучасних та перспективних прикладних завдань аналізу послідовностей зображень.

З метою оцінки параметрів потоку транспортних засобів пропонується велика кількість варіантів побудови детекторів транспорту. Детектори, побудовані з урахуванням відеокамер видимого діапазону, є найперспективнішими. Це пояснюється додатковими можливостями, що з'являються під час їх використання:

- виявлення транспортних засобів одним датчиком за кількома смугами;
- фіксація правопорушень;

- розпізнавання номерних знаків транспортних засобів;
- виявлення позаштатних ситуацій;
- можливість візуального контролю оператором (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Приклад розпізнавання номерних знаків транспортних засобів

Відповідно для ефективного управління дорожнім рухом у місті виникає необхідність спостереження за великою кількістю перехресть та ділянок доріг. Рішенням є встановлення камер відеоспостереження, проте потрібні лінії зв'язку для передачі великих обсягів даних (відео) та подальша обробка з використанням обчислювальних центрів (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Приклад камер відеоспостереження за транспортними засобами

Для зниження даних витрат пропонується встановлювати інтелектуальні камери, на яких можлива вбудована обробка відео (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Приклад камер відеоспостереження за транспортними засобами

Виникає завдання розробки алгоритму:

- виявлення;
- підрахунку;
- оцінки параметрів транспортних засобів.

Також необхідно передбачити, щоб такий алгоритм працював у різних складних умовах – external environment.

У загальному випадку, при надходженні stream з відеокамери, виділяють два варіанти реалізації алгоритмів обробки відеоряду:

- на внутрішній платформі інтелектуальних камер, тобто онлайн обробка відеоряду. У цьому випадку скорочується обсяг переданих даних, що веде до зменшення вимог до каналів зв'язку та обчислювального центру;
- на центральному server.

У такому разі немає потреби встановлювати камери, що мають свою обчислювальну платформу. У кваліфікаційній роботі досліджуються алгоритми виявлення та оцінки параметрів об'єктів на внутрішній платформі інтелектуальних камер. Це дозволяє скоротити обсяг даних, що передаються

на центральний сервер. Проте обмеженість обчислювальних можливостей таких камер ускладнює розробку алгоритмів обробки відеоряду, тому що при цьому потрібно враховувати:

- мінливі погодні умови (сонце, туман, дощ, сніг);
- динамічні зміни освітленості сцени, спричинені тінями від будівель;
- відблиски та засвітка від включених фар автомобілів та ліхтарів

вуличного освітлення.

Пропонується наступна схема роботи системи виявлення, підрахунку та оцінки параметрів транспортних потоків. Інтелектуальні камери встановлюються на необхідних ділянках доріг та зв'язуються з центральним server. Зазначимо, що потреби у автоматизації управління та прийняття рішень збільшуються, тобто збільшується кількість ділянок доріг, що спостерігаються, і кількість камер, відповідно підвищуються витрати на організацію каналів зв'язку та передачі даних. Використання інтелектуальних камер дозволяє зменшити вимоги до каналів зв'язку, тому що для передачі статистичних даних про транспортні потоки необхідно набагато менше ресурсів, ніж для передачі зображень та відео. У такому разі працівникам центру управління рухом чи організації дорожнього руху ставляться такі завдання:

- виконати встановлення та первинне налаштування інтелектуальних камер;
- відстежувати ситуації позаштатного відключення чи поломки інтелектуальних камер;
- приймати рішення щодо управління та організації дорожнього руху;
- здійснювати контроль роботи інтелектуальної транспортної системи.

Тоді проблеми обробки всього обсягу відео перекладаються на платформу інтелектуальних камер. Таким чином, налаштована камера виконує захоплення відеоряду, його обробку та розрахунок усіх параметрів транспортного потоку. Основне завдання дослідження полягає у високоточній оцінці параметрів транспортного потоку для транспортних

вузлів різного виду (перехресть, розв'язок і т.д.) на основі інформації, яка отримується від системи, що складається з декількох датчиків зображень інтелектуальних камер видимого діапазону. Для кожного напрямку руху, що цікавить, необхідне встановлення окремої відеокамери, як показано на рисунку 1.7.

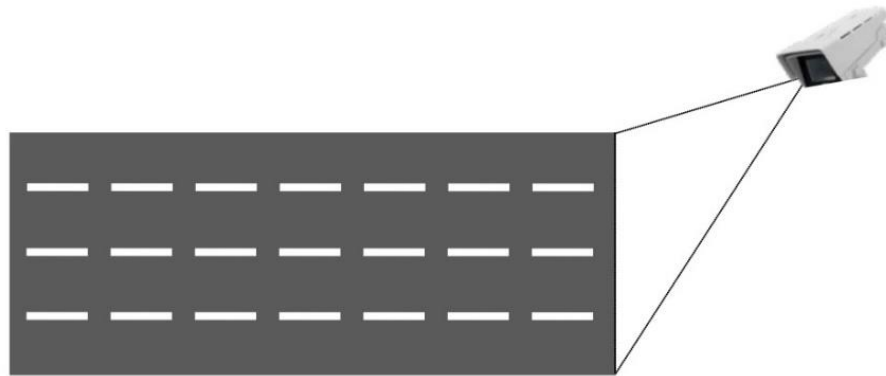


Рисунок 1.7 – Приклад встановлення відеокамери

Вимагають оцінки наступні параметри транспортного потоку для кожної смуги руху:

- зайнятість дороги та середній інтервал руху транспортного засобу;
- кількість транспортних засобів у потоці;
- середня швидкість потоку;
- кількість транспортних засобів різних типів;
- середня швидкість транспортних засобів різних типів.

Щоб визначити значення даних параметрів, необхідно вирішувати задачі виявлення транспортних засобів, оцінки їх швидкості та розмірів, класифікації. Існують різні алгоритми аналізу зображень та відеопослідовностей для виявлення об'єктів та оцінки їх параметрів. Вибір конкретного алгоритму для кінцевої реалізації та використання в системі відеоаналітики не завжди є очевидним і залежить від таких параметрів, як:

- умови спостереження;
- тип оцінюваних параметрів;

- рівень складності класифікації;
- рівень шуму на зображенні;
- зміна освітленості сцени.

У разі спостереження нерухомим відеодатчиком, важливим завданням є коректна оцінка кількості об'єктів, що рухаються, оскільки два і більше об'єкти можуть рухатися на малій відстані один від одного. В іншій ситуації сегмент зображення, що належить об'єкту, може бути частково заслонений нерухомими об'єктами переднього плану (стовпи, перила) або розбитий ними на два і більше сегменти. Слід зазначити, що істотною особливістю, яку необхідно враховувати при розробці алгоритмів виявлення об'єктів, що рухаються, і оцінки їх параметрів у системі відеоаналітики з використанням інтелектуальної камери, є обмеженість обчислювальних ресурсів цільової платформи, що може також призводити до непостійного значення частоти отримання кадрів відеоряду. Основною ж проблемою в цьому випадку є обчислювальна ефективність того чи іншого алгоритму.

Таким чином, пропонується підвищити ефективність системи відеоаналітики з точки зору якості та швидкості вирішення задачі виявлення об'єктів та точності оцінки їх параметрів. Проблематика задачі передобробки та стиснення зображень, що виникає при передачі відеоряду з інтелектуальних камер на центральний server, у кваліфікаційній роботі не розглядається, оскільки основний напрямок досліджень пов'язаний з онлайн обробкою відеоряду.

Аналізовані алгоритми повинні мати прийнятні обчислювальні витрати для роботи на внутрішній платформі інтелектуальної камери. При цьому виявлення, класифікацію та оцінку параметрів транспортних засобів необхідно виконувати у складних умовах:

- різний час доби;
- погодні умови;
- щільний потік транспортних засобів;
- різні ракурси відеозйомки;

- слабка освітленість;
- тіні;
- обмеженість обчислювальних ресурсів.

У кваліфікаційній роботі досліджується математична модель оцінки параметрів об'єктів для розв'язання задач відеоаналітики. Розроблені підходи передбачається використовувати у сфері транспортної аналітики для оцінки параметрів транспортних потоків у режимі реального часу при спостереженні за дільницями доріг та перехрестями, що цікавлять, при цьому обробка, аналіз та збір інформації виконується для кожної смуги руху.

### 1.1 Підходи у системі відеоаналітики

Зір – основне джерело інформації про навколишній світ для більшості живих організмів. Технічна реалізація зорових здібностей є одним із найважливіших кроків на шляху до створення інтелектуальних систем, здатних забезпечити прогрес суспільства у багатьох напрямках. До таких напрямків відносяться:

- випуск принципово нових продуктів;
- охорона навколишнього середовища;
- запобігання терористичним актам;
- катастрофи та нещасні випадки;
- підвищення якості та зниження собівартості промислового виробництва;
- надання послуг;
- організація та управління важливими процесами у різних сферах життя людини.

Однією з актуальних проблем, які на сьогоднішній день не отримали прийняттого рішення, є аналіз послідовностей відеоряду динамічних сцен з метою оцінки руху об'єктів. Це завдання актуальне в таких областях, як:

- організація руху транспортних засобів;
- боротьба із пробками;
- охорона території.

Незважаючи на те, що завдання виявлення, простеження та оцінки параметрів об'єктів у своїй спільній постановці не є новими, наукова спільнота продовжує вести активну роботу, спрямовану на подолання недоліків у роботі інтелектуальних систем відеоспостереження (рисунок 1.8).

Значна кількість доповідей та статей присвячена розвитку теорії та методів виявлення, простеження та оцінки параметрів об'єктів у контексті додатку до завдань обробки та аналізу відеоданих. У різних сферах діяльності, де від людини потрібні механічні дії, сучасна робототехніка та розвинені інформаційні технології успішно замінюють людину, підвищуючи якість роботи та надійність. Однак не завжди можливо замінити людину машиною, і в більшості випадків це обумовлено тим, що існуючі на сьогоднішній день завдання виявлення, розпізнавання та оцінки параметрів об'єктів на зображенні, як і раніше, можуть бути вирішені в загальному вигляді тільки людиною.



Рисунок 1.8 – Приклад роботи інтелектуальних систем відеоспостереження за транспортом

Серед основних завдань, які вирішуються інтелектуальними системами з використанням відеодатчиків, можна виділити:

- виявлення та автоматичне стеження у заданій області об'єктів інтересу;
- виявлення несанкціонованого проникнення на об'єкти, що охороняються;
- підрахунок у реальному часі щільності транспортних засобів на дорогах з метою раціонального керування рухом транспорту.

До перспективних задач відеоаналітики можна віднести задачі ситуаційного аналізу:

- виявлення спалахів;
- фіксація небезпечного водіння;
- виділення в натовпі людей з підозрілою чи агресивною поведінкою;
- стеження за виробничим процесом та виявлення позаштатних ситуацій у роботі обладнання.

Практика показує, що, незважаючи на появу на ринку готових до використання технічних засобів, якість вирішення багатьох типових задач, не кажучи вже про перспективні, залишається недостатньо високою. Велика кількість складних спрацьовувань та перепусток контрольованих подій та об'єктів інтересу призводить до необхідності забезпечення суттєвого ступеня залучення людини-оператора до процесу функціонування системи відеоаналітики. Як приклад досить актуальних на сьогоднішній день завдань відеоаналітики можна розглянути виявлення та стеження за людьми та транспортними засобами. Однак більшість робіт розглядають завдання виявлення та стеження окремо і вирішують якусь одну з них.

Системи технічного зору для аналізу та обробки інформації широко застосовуються під час побудови інтелектуальних транспортних систем. Такі системи використовуються для комп'ютеризованого пошуку та прийняття до реалізації максимально ефективних сценаріїв керування транспортними засобами та дорожньою інфраструктурою.

Основними задачами, які вирішуються інтелектуальними транспортними системами, є:

- моніторинг та параметризація транспортного потоку;
- збільшення пропускної спроможності транспортних вузлів та магістралей шляхом оперативного перенаправлення транспортного потоку;
- детектування та запобігання нештатним ситуаціям.

Основою інтелектуальних транспортних систем, що надає інформацію про параметри транспортного потоку на різних ділянках транспортної мережі, є системи аналізу транспортного потоку. Дані системи можуть складатися з датчиків різного типу (відеодатчики, радари, лідари, механічні, акустичні датчики та ін.) і мати різну архітектуру. Останнім часом найперспективнішими вважаються системи, які оснащені кількома датчиками на основі інтелектуальних відеокамер. Дані системи досить дешеві, надійні (в елементах відсутні рухомі частини, елементи легко замінюються), не вимагають широких каналів зв'язку, так як більша частина обробки проводиться на внутрішній платформі відеодатчика. Є потенціал збільшення точності подібних систем. Очевидно, вирішення зазначених проблем може бути тільки комплексним і повинно включати заходи, спрямовані як на підвищення ефективності та безпеки існуючої транспортної мережі, так і на оптимальне планування та введення в дію нової дорожньої інфраструктури. До прикладів таких заходів можна віднести:

- створення та введення в експлуатацію інтелектуальних систем організації руху транспортних засобів (розумні світлофори, індикатори оптимальної швидкості руху та ін.);
- створення стаціонарних та пересувних систем, засобів та комплексів для автоматичної оцінки параметрів транспортних потоків (інтенсивності руху, середньої швидкості потоку, пікового навантаження, завантаженості по годинниках та ін.).

Можна зауважити, що для реалізації наведених вище заходів необхідно у кожний момент часу і з досить великою точністю знати становище на

дорозі та, можливо, тип кожного об'єкта автомобільного транспорту. Це завдання з технічного погляду можна вирішувати у різний спосіб.

Один із напрямків полягає в оснащенні транспортних засобів приймачами супутникових навігаційних сигналів або об'єднання всіх учасників руху в єдину мережу за допомогою різних технічних рішень. На шляху реалізації цього напрямку існує ряд труднощів, як технічних (аналіз великих обсягів даних, прив'язка сигналів позиціонування до елементів дорожньої мережі та ін), так і організаційних (будівництво та оснащення центрів обробки даних, оснащення транспортних засобів додатковою апаратурою).

Другий напрямок пов'язаний із застосуванням інтелектуальних засобів аналізу відеоряду, які не вимагають встановлення спеціалізованого обладнання на об'єкти транспорту. Треба відзначити, що існуючі в рамках цього напрямку промислові розробки на сьогоднішній день не мають достатньої ефективності. У свою чергу, академічні розробки зосереджені в основному на розвитку теоретичних підходів, і часто неможливо оцінити їхню працездатність у всьому діапазоні робочих умов. Крім того, в академічних дослідженнях часто не приділяється належної уваги оптимізації обчислювальної складності, що залишає питання щодо подальшої практичної реалізації запропонованих підходів.

Розвиток технологій аналізу зображень, які в якості альтернативи засобам супутникової навігації могли використовуватися для збору інформації про рух транспортних засобів, є актуальною науково-технічною проблемою. Треба відзначити, що дослідники на шляху створення подібних технологій стикаються з необхідністю подолання багатьох труднощів, що виникають через те, що створювані технічні рішення повинні працювати в найрізноманітніших і найскладніших умовах:

- у денний та нічний час;
- у складних погодних умовах (дощ, сніг, туман);

- при поганій якості дорожнього покриття та наявності факторів, що впливають на його візуальну однорідність (наявність ям, вибоїн, калюж);
- при щільному потоці транспортних засобів;
- при зміні рівня та напрямку освітленості;
- різноманітність моделей транспортних засобів, їх колірного виконання;
- за наявності часткового візуального заслонення однієї зі смуг руху транспортом, розташованому у сусідніх смугах.

Далеко не у всіх практичних програмах можна досягти відповідної установки відеокамер. Найчастіше вирішувати завдання виявлення, оцінки параметрів та розпізнавання транспортних засобів необхідно в реальному масштабі часу та на обмежених обчислювальних ресурсах.

## 1.2 Аналіз завдань, які вирішуються за допомогою інтелектуальних відеодатчиків

При створенні систем відеоаналітики із застосуванням інтелектуальних відеокамер дослідники та інженери стикаються з необхідністю вирішувати наступні завдання цифрової обробки зображень:

- відновлення та передобробка зображення;
- сегментація зображення;
- виявлення рухомого або нерухомого об'єкта;
- стеження чи супровід;
- оцінка параметрів об'єктів;
- розпізнавання та класифікація.

Розглянемо покроково завдання цифрової обробки зображень.

Крок № 1 – вирішується завдання відновлення та передобробки зображення, яке може бути спотворене через вплив шумів або особливостей відеодатчика, негативних ефектів стиснення зображення під час передачі каналами зв'язку, тощо. На якість зображення впливають характеристики

світлочутливої матриці камери та оптичних фільтрів, встановлених перед нею. На етапі формування зображення може виникати розмитість зображення через неідеальність оптичної системи та хроматичної аберації лінз. Передобробка вхідного зображення може включати фільтрацію та корекцію гістограми яскравості. Фільтрація полягає у згладжуванні з метою зниження рівня шумів. Одним із добре відомих і часто застосовуваних фільтрів є усереднюючий фільтр. При такій фільтрації для кожної точки обчислюється середня арифметична яскравість у певному окрузі. На практиці часто використовується фільтр Гауса, що також є лінійним фільтром низьких частот. З точки зору якості, найкращі результати показує білатеральний фільтр, оскільки зберігає межі об'єктів на зображенні. Такі фільтри відносяться до нелінійних і потребують великих обчислювальних витрат. Корекція гістограми найчастіше необхідна через невисоку якість зображень, дана операція дозволяє посилити контрастність та підвищити деталізацію. В якості методу корекції гістограми яскравості можна використовувати лінійне розтягування гістограми або еквалізацію гістограми. У кваліфікаційній роботі цей крок не розглядається, оскільки зображення формуються датчиком високого дозволу, а обробка виконується на самій камері без передачі інформації по каналах зв'язку і, відповідно, без стиснення.

Крок № 2 – сегментація. Завдання виділення областей (сегментів), що становлять зображення, точки яких схожі за певними критеріями або заданими ознаками. Вирішення цього завдання важливе при подальшому аналізі сцени, що спостерігається. Найпростішим прикладом сегментації є поділ точок зображення на фон та об'єкти, в результаті формується бінарне зображення. Сегменти бінарного зображення є вихідними даними для виявлення об'єктів (зображень об'єктів, за якими спостерігають). Для вирішення задачі сегментації на практиці застосовуються загальні методи кластеризації:

- кластеризація К-середніх;
- кластеризація нечітких С-середніх;

- кластеризація - EM.

А також розроблені безпосередньо для обробки зображень:

- метод SUSAN;
- метод середнього зсуву;
- метод водорозподілів.

У проведених дослідженнях цей крок має велику важливість і впливає на точність подальшого виявлення та якість оцінки параметрів динамічних об'єктів.

Крок № 3 – виявлення об'єкта. Трапляються ситуації, коли необхідно виявити нерухомий об'єкт, присутній на сцені з початку спостереження або він зупинився в процесі спостереження. Іншою поширеною ситуацією є виявлення об'єктів, що рухаються. Дані завдання можуть вирішуватись оператором вручну, але при створенні системи відеоаналітики більший інтерес представляють комп'ютеризовані способи виявлення. У цьому дослідженні розглядаються завдання виявлення об'єкта, що рухається, і виявлення об'єкта, що зупинився. Як було зазначено, важливу роль при цьому зазвичай відіграє сегментація. Для сегментації розглядається метод моделювання та віднімання фону. Слід зазначити, що бінарне зображення після сегментації містить точки, які насправді не належать об'єктам, що викликано наявністю шумів, зміною освітлення, рухом відеодатчика або незначних деталей сцени, які не належать до об'єктів інтересу. Крім того, деякі точки об'єкта можуть бути хибно віднесені до фону через високий ступінь схожості з ним. Для усунення недоліків сегментації може застосовуватися математична морфологія та параметрична фільтрація сегментів, для чого потрібно розмітити бінарне зображення на області, що відповідають сегментам, а потім виконати параметризацію.

Крок № 4 – стеження та супровід об'єктів. Після початкового виявлення об'єкта інтересу вирішується завдання стеження чи супроводу, які полягають у відстеженні траєкторії руху об'єкта, ґрунтуючись на аналізі поведінки сегментів у часі. У першому випадку не ставиться завдання керування

переміщенням відеодатчика, у другому випадку передбачається організація такого керування. Очевидно, що для вирішення задачі стеження недостатньо обробляти окремо взяті зображення, повинен проводитись аналіз послідовності відеоряду в режимі реального часу. Відстеження траєкторії руху об'єкта можна здійснювати шляхом зіставлення сегментів кожному кадру відеоряду, зіставленням з зразком оптичного потоку, і навіть вирішувати завдання виявлення і стеження разом. Для надання алгоритму стеження стійкості до заслонів об'єктів, найчастіше вводиться траєкторний фільтр для прогнозу координат об'єкта в наступному кадру на основі аналізу траєкторії руху об'єкта. З цією метою застосовується широко відомий фільтр Калмана, згаданий угорський алгоритм та інші. В рамках дослідження розглядаються підходи на основі простеження сегментів та оптичного потоку. Завдання стеження загалом пов'язане з аналізом послідовності відеоряда. При оцінці координат об'єкта, на новому кадру можуть виникати грубі помилки, викликані наявністю кількох фрагментів чи особливостей поточного зображення, схожих на еталонне зображення. З метою унеможливлення подібних помилок можна використовувати міжкадровий алгоритм уточнення результатів оцінки. Суть алгоритму у тому, що у заданій кількості кадрів  $N$  запам'ятовуються  $M$  оцінок координат (для кожного кадру), серед яких з великою ймовірністю міститься правильне. Потім проводиться пошук найгладшої траєкторії руху між кадрами відеоряду. Цей підхід передбачає поліпшення алгоритму стеження з допомогою використання даних про траєкторії об'єкта.

Таким чином, якщо на поточному кадру за допомогою алгоритму стеження визначено кілька можливих положень об'єкта, то на підставі накопиченої статистики з попередніх кадрів можна вибрати найбільш відповідне положення, а також виконувати прогнозування, використовуючи накопичену інформацію про збільшення того чи іншого параметра.

Запам'ятовані локальні максимуми, отримані алгоритмом стеження, є вершинами графа, а відстані між цими вершинами – вагами ребер графа. Знаходження найкоротшого шляху у графі дозволяє визначити найгладшу траєкторію руху та відсіяти хибні максимуми. Для визначення найбільш гладкої траєкторії, що проходить через вершини графа, пропонується використовувати алгоритм пошуку найкоротшого шляху на графі – алгоритм Дейкстри, який вимагає набагато менших обчислювальних витрат, ніж метод повного перебору. При збільшенні числа вершин графа (за рахунок збільшення кількості кадрів та/або оцінок) перевага даного алгоритму проявляється значною мірою.

Крок № 5 – оцінка параметрів об'єктів. На етапі оцінки параметрів об'єктів вирішується завдання визначення значень параметрів, що характеризують об'єкт. У загальному випадку такими характеристиками можуть бути:

- координати;
- форма;
- геометричні розміри;
- площа;
- периметр контуру;
- швидкість;
- прискорення;
- орієнтація у просторі;
- текстура та інші.

На підставі оцінених параметрів можуть виконувати свою роботу алгоритми параметричної фільтрації, виявлення об'єктів заданого типу, класифікації та розпізнавання. У проведених дослідженнях оцінюваними параметрами є:

- геометричні розміри;
- площа;
- довжина;

- швидкість;
- координати фронтальної та тильної сторони об'єкта;
- зайнятість дороги;
- середній інтервал руху транспортного засобу;
- кількість транспортних засобів у потоці;
- середня швидкість потоку;
- кількість транспортних засобів різних типів.

Крок № 6 – розпізнавання та класифікація об'єктів. Одним із найскладніших етапів у відеоаналітики є вирішення завдань розпізнавання та класифікації об'єктів. Розпізнавання саме собою полягає у визначенні, чи є виявлений об'єкт шуканим (об'єктом інтересу, відомим об'єктом) або, у більш загальній постановці – чи відносяться зображення об'єктів до одного із заданих класів (класифікація). В даний час широко використовуються методи машинного навчання, що виконують пошук та локалізацію об'єктів певних класів, тим самим вирішуючи завдання розпізнавання образів.

Застосовується наступний математичний апарат:

- згорткові нейронні мережі;
- нейронні мережі з глибоким навчанням;
- дерева рішень;
- каскадні класифікатори та інші.

Різноманітність існуючих математичних методів машинного навчання, можливість комбінування різних математичних моделей та введення додаткових евристичних процедур призводять до появи нових результатів у цій галузі. Серед усіх підходів на даний момент важко виділити одну або кілька робіт, що перевершують решту. Створювані алгоритми все ще недостатньо універсальні і якість їх роботи багато в чому залежить від повноти навчальної вибірки та її відповідності до типових робочих умов.

До появи спеціалізованих нейронних мереж для виявлення об'єктів заданих класів зазвичай використовувався підхід, згідно з яким зображення

проходило ковзаючим вікном. Для кожного положення вікна обчислювалася карта ознак, наприклад, за допомогою гістограми спрямованих градієнтів HOG або попередньо навченої нейронної мережі, яка в подальшому надходила на якийсь класифікатор. Як класифікатор, наприклад, міг використовуватися класифікатор на основі машин опорних векторів SVM.

В даний час завдання виявлення та класифікації об'єктів прийнято вирішувати за допомогою штучних згорткових нейронних мереж. Це обумовлено низкою причин:

- суттєвий прогрес у галузі створення графічних процесорів;
- відносно великий обсяг даних на навчання;
- велика кількість спеціалізованих програмних пакетів для підготовки даних, навчання та використання нейронних мереж.

Нейросетевые архітектури виявлення і розпізнавання об'єктів можна розділити на великі групи:

- перша група – архітектури, що обробляють регіони на зображенні;
- друга група – архітектури, що обробляють зображення, що надійшло повністю.

Використання підходів на основі нейронних мереж потребує якісного підбору навчальної бази зображень, також часто виникають проблеми в процесі навчання. При використанні методу зворотного поширення помилки процес навчання може вимагати великих тимчасових витрат, також процес навчання може фактично зупинитися, тому багато досліджень спрямовані на вирішення завдань оптимізації при навчанні. Оскільки застосовується різновид градієнтного спуску, однією з проблем є наявність точок, у яких процес навчання зупиняється, хоча поруч може бути оптимальне рішення. Такою точкою може бути локальний мінімум або сідлова точка (стаціонарна для заданої функції, проте не є екстремумом, значення функції є максимальним в одному вимірі і мінімальним в іншому). Крім того,

необхідно приділяти увагу довжині кроку навчання. При малому кроці навчання швидкість збіжності буде мала, а час навчання йти до нескінченності. При дуже великій довжині кроку процес навчання виявляється нестійким, збіжність може не досягатися, виникає параліч мережі. Застосування підходів на основі машинного навчання для вирішення поставленого завдання не розглядатиметься, оскільки для реалізації будуть потрібні спеціальні обчислювальні платформи, а на інтелектуальних камерах, що використовуються, застосування нейромереж просто неможливо. Обчислювальна складність алгоритмів розпізнавання сильно відрізняється залежно від конкретного завдання.

## 2 ОГЛЯД АЛГОРИТМІВ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕРЕСУ

### 2.1 Детектори на основі різних принципів дії

Системи транспортної аналітики включають в себе велику кількість вимірювальних пристроїв, заснованих на різних принципах дії. Широко використовуються:

- механічні;
- акустичні;
- п'єзоелектричні детектори транспортних засобів;
- вимірники швидкості транспортних засобів на основі радарів.

Подібні пристрої зазвичай доповнюються відеокамерами, що здійснюють функції реєстрації транспортної обстановки. Далі розглянемо підходи, що дозволяють вирішувати завдання виявлення та оцінки параметрів об'єктів інтересу з метою аналізу транспортного потоку.

За призначенням детектори транспортних засобів поділяються на такі класи:

- клас № 1 – прохідні детектори транспортних засобів;
- клас № 2.1 – детектори присутності (повної) транспортних засобів;
- клас № 2.2 – детектори присутності (обмеженої) транспортних засобів.

Клас № 1 – прохідні детектори транспортних засобів знайшли широке застосування та видають нормовані за тривалістю сигнали з появою транспортних засобів у контрольованій зоні (рис.2.1). Параметри сигналу не залежать від часу перебування транспортних засобів у цій зоні. Такі детектори фіксують лише появи транспортних засобів у зоні.

Клас № 2.1 – детектори присутності (повної) транспортних засобів (рисунок 2.2). Такі детектори фіксують транспортні засоби протягом усього часу їхнього перебування в контрольованій зоні.



Рисунок 2.1 – Приклад роботи прохідних детекторів транспортних засобів



Рисунок 2.2 – Приклад роботи детекторів присутності (повної) транспортних засобів

Подібні детектори застосовуються рідше в порівнянні з прохідними, тому що вони призначені в основному для виявлення транспортних заторів або попереднього затору стану, визначення довжини черг, транспортних

затримок і таких параметрів, як середня просторова швидкість потоку в зоні виміру за заданий період часу та зайнятість проїзної частини.

Клас № 2.2 – детектори присутності (обмеженої) транспортних засобів (рисунок 2.3).

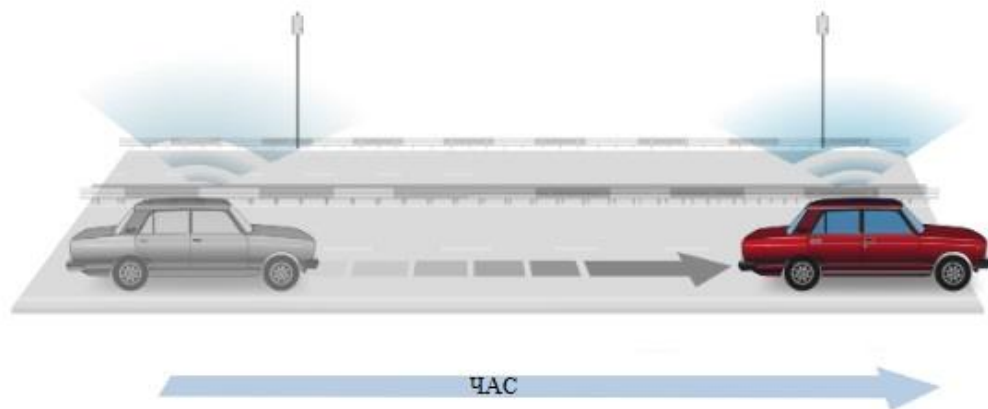


Рисунок 2.3 – Приклад роботи детекторів присутності (обмеженої) транспортних засобів

Такі детектори фіксують наявність транспортного засобу лише на певно малому інтервалі часу.

За принципом дії чутливості елемента (ЧЕ) детектори транспортних засобів поділяються на такі класи:

- чутливі елементи контактного типу;
- чутливі електромагнітні елементи;
- чутливі елементи випромінювання.

Чутливі елементи контактного типу бувають наступних видів:

- електромеханічний. Являє собою два сталеві контакти, загерметизовані в вулканізованій гумі. Коли автомобіль наїжджає на такий чутливий елемент, контакти замикаються, формуючи електричний імпульс;

- пневмоелектричний. Складається з гумової трубки, що знаходиться у сталевому лотку. Коли автомобіль наїжджає на чутливий елемент, тиск

повітря в трубці підвищується, виробляється вплив на мембрану пневмореле, в результаті чого замикаються його електричні контакти.

Чутливі елементи електромагнітного типу бувають таких видів:

- феромагнітний. Основним елементом є котушка з магнітним осердям, яку поміщають у жорстку захисну трубу. Фіксація транспортного засобу під час проїзду над чутливим елементом відбувається завдяки спотворенню магнітного поля;

- індуктивний. Основним елементом є рамка, що складається з 1-2 витків ізолюваного та захищеного від механічних впливів дроту. Під час проїзду транспортного засобу над чутливим елементом індуктивність рамки змінюється, і автомобіль фіксується.

Чутливі елементи випромінювання бувають наступних видів:

- фотоелектричний. Складається із джерела світлового променя та приймача з фотоелементом. Проїжджаючий транспортний засіб перериває промінь, що змінює освітленість фотоелемента та його електричні параметри. Недоліком таких чутливих елементів є похибка вимірювань при багаторядному інтенсивному русі транспортних засобів, а також сильний вплив на роботу дощу, снігу, пилу, бруду;

- радарний. Основним елементом є спрямована антена, встановлена збоку від дороги чи над нею. Випромінювання направляється вздовж дороги і, відбиваючись від автомобіля, що рухається, приймається антеною. Дія радарного детектора ґрунтується на застосуванні ефекту Доплера: вимірюється частота відбитої хвилі та порівнюється з частотою випромінюваної радаром хвилі. Чим вища швидкість транспортного засобу, тим більша різниця частот;

- ультразвуковий. Складається із приймача-випромінювача імпульсного спрямованого променя. Приймач-випромінювач виконаний у вигляді параболічного рефлектора, всередину якого вміщено п'єзоелектричний перетворювач, що генерує ультразвукові імпульси;

- оптичний. Фіксує інформацію про транспортний потік шляхом аналізу відеопотоку, одержуваного за допомогою цифрової відеокамери, що дозволяє зберігати та при необхідності відтворювати відео дані. Точність обробки інформації залежить від якості ліній зв'язку, але ця проблема вирішується при обробці відео на самій камері;

- інфрачервоний. Цей тип детектора приймає електромагнітні хвилі в інфрачервоному діапазоні, що випромінюються або відображені транспортними засобами, що проходять, дорожнім покриттям та іншими об'єктами в радіусі чутливості. Енергія, отримана інфрачервоними детекторами, фокусується оптичною системою на світлочутливому матеріалі, який перетворює її на електричні сигнали. Встановлюються над дорогою або збоку від дороги.

У розвитку інтелектуальної обробки відеозображень намітилася тенденція перенесення функціональності детекторів і вимірювачів швидкості в системи аналітики, що складаються з декількох відеокамер різного типу. Такі системи виконують завдання одночасного детектування, оцінки параметрів транспортних засобів та реєстрації транспортних умов. При цьому вони мають значно більшу надійність, а також не впливають на роботу навігаційних систем сучасних транспортних засобів через відсутність у них джерел радіовипромінювання. Зазначається спірне твердження, що природа відеодатчиків, які формують двовимірне зображення тривимірної сцени, потребує значного часу для накопичення даних, тобто накладається обмеження на оперативність видачі інформації.

Ставиться наукова проблема, пов'язана з необхідністю створення підходів до побудови гетерогенних систем аналізу транспортних потоків, що складаються з датчиків різного типу (активних та пасивних) з метою значного збільшення надійності, точності та оперативності роботи систем загалом.

У рамках вирішення цієї проблеми пропонуються шляхи модернізації систем транспортної аналітики за рахунок:

- переорієнтації полів зору відеодатчиків з метою забезпечення спостереження об'єкта кількома камерами;
- доповнення систем датчиками, що ґрунтуються на інших принципах формування зображень, наприклад камерами з проміжками часу, з метою вимірювання відстані;
- комплексування та спільної обробки інформації.

Збільшення точності систем відеоаналітики дійсно можна досягти шляхом дооснащення їх камерами з проміжками часу, що надають інформацію не тільки про яскравість об'єкта, але і відстань до нього. Даний вид камер хоч і є активним, проте використовує підсвічування малої інтенсивності в ближньому ІЧ-діапазоні. На відміну від скануючих радарних і лазерних вимірювачів дальності (лідарів), камери з проміжками часу не містять рухомих частин, що збільшує надійність даного виду датчиків. Очевидно, що для повного використання потенціалу пропонованих апаратних рішень необхідно здійснювати комплексну обробку відеоінформації та інших даних, що отримуються від сукупності датчиків.

При проведенні огляду літератури описано низку подібних завдань, пов'язаних з навігацією безпілотних носіїв, оснащених датчиками різної природи (відеокамери, далекоміри, радари, лідари). Проте складність завдання також полягає у просторовому рознесенні джерел інформації. Це призводить до того, що кожна точка транспортного вузла у просторі спостерігається з кількох датчиків під різними кутами, з різних відстаней. Ця особливість збільшує розмірність завдання і вносить невизначеність при просторовому ототожненні точок об'єктів, що спостерігаються різними датчиками. Невизначеність породжується надмірністю та нерівноцінністю інформації про точку, що отримується від різних датчиків. Ще однією із проблем, що виникають у такій системі, є наявність великої кількості мертвих зон, у межах яких сцена не спостерігається всіма чи деякими

датчиками. При вирішенні задачі юстування (як попередньої, так і уточнюючої, що виконується під час роботи системи) рознесеної гетерогенної системи особливу важливість набуває проблема високоточного виділення та співвідношення орієнтирів у межах транспортного вузла.

Все більше застосування в бортових системах спостереження знаходять лазерні локатори – лідари (Light Detection and Ranging – LiDAR), які являють собою активні далекоміри оптичного діапазону, що використовують явища відбиття світла та його розсіювання в прозорих та напівпрозорих середовищах. Повітряне сканування застосовується для зйомки як площадних, так і протяжних об'єктів, таких як дороги, трубопроводи, лінії електропередач. Таким чином, лідари дозволяють отримувати та обробляти інформацію про віддалені об'єкти, а також формувати двовимірну або тривимірну картину навколишнього простору.

Алгоритми включають обробку одержаної за допомогою лідара хмари точок, виділення найбільш значущих точок, виявлення точок поверхонь для подальшої інтерполяції меж об'єктів. Даний метод може давати високу точність, але потребує значних часових витрат і застосовується переважно у завданнях картографії та дистанційного зондування великих сцен.

Очевидно, що лідари, як і камери з проміжками часу, можуть забезпечити підвищення точності виявлення та оцінки параметрів об'єктів. Однак, окрім названих недоліків, на даний момент подібні пристрої поширені не широко і мають високу ціну, через що їх застосування на практиці в рамках розв'язуваного завдання неможливо.

## 2.2 Виявлення у задачі запобігання небезпечних ситуацій

Проблема виявлення об'єктів інтересу є важливою та актуальною у сфері забезпечення безпеки як наземного транспорту, так і водного чи повітряного. Дану проблему можна пов'язати із завданням запобігання небезпечним ситуаціям, що виникають при зближенні транспортних засобів з

навколишніми об'єктами. З точки зору водія, пілота або системи автоматичного керування транспортним засобом можна виділити наступні завдання:

- виявлення всіх об'єктів у навколишньому ТЗ просторі;
- оцінка відносного становища об'єкта та ступеня небезпеки;
- обробка результатів оцінки.

Оцінка ступеня небезпеки повинна проводитись на основі аналізу відстані до об'єкта та швидкості зближення. Таким чином, система запобігання зіткнень повинна включати засоби для вимірювання або оцінки відстані до навколишніх об'єктів. Робота подібних засобів може ґрунтуватися на оптичному методі або радіолокаційному методі.

Останнім часом розроблено достатньо алгоритмів для систем обробки та аналізу відеоряду. Однак, багато теоретичних питань та практичних напрямків застосування таких систем залишаються недостатньо вивченими. Це стосується вирішення наступних завдань:

- виявлення об'єктів;
- стеження за об'єктами;
- розпізнавання об'єктів.

Оцінки параметрів об'єктів на зображенні, як і раніше, можуть бути вирішені в найбільш загальному вигляді за допомогою людини. В області відеоаналітики однією з актуальних проблем, що потребує вирішення, є аналіз послідовностей зображень динамічних сцен з метою виявлення та оцінки параметрів об'єктів, що рухаються. Складність та багатогранність цієї проблеми не дозволяють вирішити її в рамках одного будь-якого підходу, а вимагають створення цілого комплексу алгоритмів, орієнтованих на різні умови застосування.

Класичні підходи, які засновані на виділенні руху, часто не здатні чітко оцінити кількість об'єктів, що рухаються в полі зору.

Методи та алгоритми просторової сегментації малоефективні з огляду на велику неоднорідність самих зображень об'єктів. Найбільш точну оцінку

приналежності одного сегмента більш ніж одному об'єкту є можливим отримати тільки в процесі аналізу послідовності кадрів з побудовою просторово-часової структури, що відображає як динаміку руху неподільних елементів, так і процеси злиття та поділу відповідних сегментів на зображенні. Дане рішення висуває особливі вимоги до обчислювальних можливостей систем технічного зору. Слід зазначити, що в даний час при проведенні огляду наукових публікацій розглядаються способи побудови принципово нових алгоритмів аналізу відеоряду, при цьому питання забезпечення прийнятної обчислювальної складності залишаються без належної уваги. Крім того, недостатньо опрацьовано проблему автоматичного аналізу поточного характеру сцени та умов спостереження з метою вибору найбільш підходящих алгоритмів:

- виявлення;
- стеження;
- розпізнавання;
- оцінки параметрів об'єктів.

В даний час виділяють два базові варіанти застосування алгоритмів обробки даних для вирішення завдань відеоаналітики:

- на внутрішній платформі камер відеоспостереження – онлайн обробка;
- на центральному обчислювальному сервері – офлайн обробка.

Під час обробки та аналізу відеоряду потрібно, щоб відповідні алгоритми працювали в режимі реального часу. Таким чином, мова йде про каузальну обробку, коли можна брати до уваги лише минулі кадри та поточний кадр відео. Однак існують завдання, що полягають у обробці раніше записаного відеосюжету (офлайн обробка), наприклад, для збору статистичних даних. У такому разі ми можемо враховувати майбутні кадри, і алгоритм просторово-часової фільтрації буде ґрунтуватися на некаузальній обробці з урахуванням минулих, поточного та майбутніх зображень. Некаузальна обробка повинна забезпечити покращення результатів стеження

за об'єктом протягом часу його знаходження в області видимості камери, а також результатів локалізації об'єкта в кожному взятому окремому кадрі. Позитивні результати повинні виявлятися у випадках часткового заслонення об'єктів або повного заслонення на невеликих інтервалах часу. Однак метод некаузальної обробки відео підходить для офлайн обробки, метою ж справжнього дослідження є онлайн обробка на камері.

Багато алгоритмів оцінки координат точки-центру об'єкта ґрунтувалися, як правило, на методах сегментації та зіставлення з еталоном. Також для вирішення задачі синтезу алгоритмів стеження було запропоновано застосовувати методи теорії оптимальної фільтрації. Перейдемо до більш детального розгляду методів та підходів, що використовуються у системах автоматичного виявлення, стеження та оцінки параметрів об'єктів.

В даний час в системах відеоаналітики для вирішення задач виявлення, стеження та оцінки параметрів об'єктів набули широкого поширення наступні методи:

- кореляційно-екстремальні методи поєднання з еталоном;
- методи сегментації;
- методи виділення об'єктів за допомогою просторової фільтрації;
- методи просторово-часової фільтрації;
- методи на основі виділення структурних елементів.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕРЕСУ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ВІДЕОАНАЛІТИКИ

Для кожного напрямку руху транспортного засобу необхідна установка окремого відеодетектора на базі інтелектуальної відеокамери (рисунок 3.1).

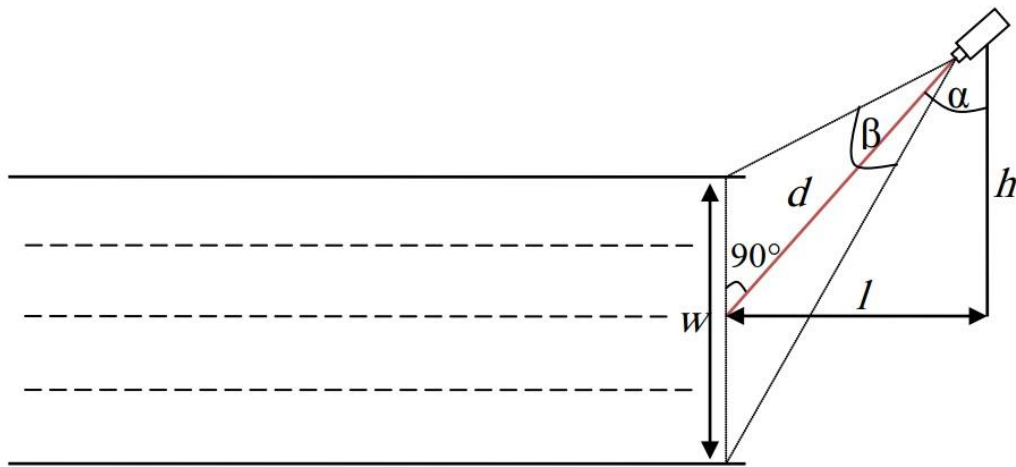


Рисунок 3.1 – Приклад встановлення відеокамери для спостереження за рухом ТЗ

Позначення на рисунку 3.1:

$\alpha$  – кут між центральною оптичною віссю інтелектуальної відеокамери та вертикаллю;

$\beta$  – кут огляду інтелектуальної відеокамери у горизонтальній площині;

$w$  – ширина проїжджої частини, що спостерігається;

$h$  – висота розміщення відеокамери над проїжджою частиною;

$d$  – відстань від об'єктива інтелектуальної відеокамери до проїжджої частини;

$l$  – відстань між проекцією точки встановлення інтелектуальної відеокамери на площину проїжджої частини та точкою перетину центральної

оптичної осі інтелектуальної відеокамери з проїжджою частиною.

Спостереження за проїжджою частиною виконується зверху та назустріч транспортному засобу. Кут  $\alpha$  дорівнює від  $30^0$  до  $45^0$  градусів. Відеодетектор розташовується на висоті  $h = 8$  метрів від проїжджої частини. Ширина сенсора спостереження за транспортним засобом дорівнює ширині смуги проїжджої частини, близько 3 м. Довжина сенсора спостереження за транспортним засобом дорівнює від 4 до 5 м. Припустимо, що  $\alpha = 45^0$ , ширина  $\beta = 100^0$  та висота  $h = 8$  м. Розрахунок ширини контрольованої проїжджої частини виконується виходячи з наступних співвідношень:

$$d = \frac{h}{\cos \alpha}, \quad (3.1)$$

$$d = \frac{8}{\cos 45^0} \approx 11.3 \text{ м.}$$

$$w = 2 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}, \quad (3.2)$$

$$w = 2 \cdot 11.3 \cdot \operatorname{tg} \frac{100^0}{2} \approx 26.9 \text{ м.}$$

Робота сенсора починається з ініціалізації параметрів роботи та початкової оцінки фону у кожній зоні. На цій стадії важливо виділити кадри, на яких відсутній рух, що досягається, у тому числі, за рахунок синхронізації роботи двох зон сенсора. Після знаходження опорного кадру протягом заданого проміжку часу здійснюється перевірка стабільності фону. Як тільки стадія початкової оцінки фону завершується, сенсор переходить у режим основної роботи, що складається з таких основних алгоритмів:

- виділення об'єкта, що рухається, в кожній зоні;
- оновлення оцінки фону у кожній зоні;
- стеження за об'єктом у межах сенсора;
- оцінка параметрів об'єкта;
- оновлення глобальних параметрів транспортного потоку.

Спостереження за об'єктом інтересу починається з кадру відеопослідовності, на якому об'єкт інтересу був виявлений у зоні в'їзду. Коли на рівні сенсора фіксується подія покидання транспортним засобом зони в'їзду, то виконується оцінка параметрів об'єкта, а також збільшується лічильник транспортних засобів, що проїхали смугою руху. При фіксації названої події перевіряється, що об'єкт виявлено в зоні виїзду пізніше, ніж у зоні в'їзду, що визначається алгоритмом виділення об'єкта, що рухається, на зображенні.

Параметри алгоритму виділення об'єкта, що рухається, включають:

- $\tau_{bin}$  – поріг яскравості для бінаризації зображення;
- $\tau_{S1}$  – поріг для віднесення точки до тіні (верхній);
- $\tau_{S0}$  – поріг для віднесення точки до тіні (нижній);
- $\Delta\tau_S$  – величина діапазону порогу віднесення точки до тіні;
- $\tau_L$  – поріг для віднесення точки до засвічення (нижній);
- $n_{S1}$  – максимальна кількість виділених точок, за винятком точок тіні, для ухвалення рішення про виявлення тіні;
- $n_{L1}$  – максимальна кількість виділених точок, за винятком точок засвічення, для ухвалення рішення про виявлення засвічення;
- $n_{obj}$  – мінімальна кількість виділених точок об'єкта (не включаючи точки тіні та засвічення) для ухвалення рішення про виявлення об'єкта;
- $n_{objIn}$  – мінімальна кількість точок об'єкта для ухвалення рішення про в'їзд об'єкта в зону;
- $n_{objOut}$  – мінімальна кількість точок об'єкта для ухвалення рішення про виїзд об'єкта із зони;

- $\Delta_{ttjam}$  – час зайнятості зони в секундах, після якого підвищуються пороги в'їзду/виїзду (режим затора);
- $n_{objInJam}$  – мінімальна кількість точок об'єкта для ухвалення рішення про в'їзд об'єкта в зону в режимі затора;
- $n_{objOutJam}$  – мінімальна кількість точок об'єкта для ухвалення рішення про виїзд об'єкта із зони в режимі затора;
- $\Delta_{ttInOut}$  – мінімальний часовий інтервал у мілісекундах між подіями виїзду та в'їзду.

Захоплення відеопослідовності з інтелектуальної відеокамери здійснюється за допомогою програмного інтерфейсу інтелектуальної відеокамери, який дає можливість отримувати відео у різних форматах. Кожне нове зображення послідовності зберігається у спеціальній структурі даних, яка також містить розміри зображення та поточний час. Передбачена можливість захоплювати кольорове зображення або у відтінках сірого. Покроковий процес отримання зображення з інтелектуальної відеокамери:

- крок № 1 – початок;
- крок № 2 – отримання чергового кадру;
- крок № 3 – отримання розмірів зображення;
- крок № 4 – отримання поточного часу;
- крок № 5 – вилучення компоненти яскравості;
- крок № 6 – кольорове зображення?
- крок № 7 – ні – кінець;
- крок № 8 – так – вилучення кольоророзносних компонентів;
- крок № 9 – кінець.

Для вирішення завдання виділення об'єктів, що рухаються, які спостерігаються на однорідному або неоднорідному фоні, застосовується метод просторово-часової фільтрації зображень. Принцип роботи подібних методів заснований на виявленні змін, що відбуваються з часом у спостерігаємій послідовності зображень. Основною перевагою просторово-часової фільтрації є можливість організації повністю автоматичного режиму

функціонування системи виявлення і стеження, причому складність і неоднорідність сцени, що спостерігається, не є перешкодою для успішного вирішення завдань. Крім того, відзначається невисока обчислювальна складність реалізації методу.

Отримане за допомогою інтелектуальної відеокамери зображення  $A(x,y,t)$  описується моделлю наступного виду:

$$A(x,y,t) = B(x,y,t) \cdot O(x,y,t) + F(x,y,t) + S(x,y,t), \quad (3.3)$$

де  $x$  та  $y$  – просторові координати точки (ширина та висота зображення);

$t$  – номер кадру або час отримання кадру;

$B(x,y,t)$  – бінарне зображення об'єкт/фон;

$O(x,y,t)$  – зображення об'єкта (яскравості точок);

$F(x,y,t)$  – зображення фону;

$S(x,y,t)$  – просторово-часовий шум.

Враховуватимемо просторовочасовий характер даних, що надходять. Тоді можна записати, що бінарне зображення об'єкт/фон визначається:

$$B(x,y,t) = \begin{cases} 1, \text{ якщо точка належить об'єкту} \\ 0, \text{ якщо точка належить фону} \end{cases}, \quad (3.4)$$

Зробимо припущення, що у моделі згідно з формулою (3.3) параметр  $S(x,y,t)$  – просторово-тимчасовий шум, відсутній. Дане припущення засноване на тому, що в інтелектуальній відеокамері застосовується шумозаглушення на апаратному рівні, тому вона формує якісне зображення сцени. Зважаючи на відсутність апріорних відомостей про виявлені об'єкти інтересу, наведена вище модель розглядає яскравість точок  $O(x,y,t)$  як випадкову величину, що має рівномірний розподіл у діапазоні  $[k_{\min}, k_{\max}]$ , де  $k_{\min}$  и  $k_{\max}$  – нижня та верхня межі діапазону яскравостей зображення. Так як

обробка здійснюється в заданих малих областях зображення, що вміщують лише один об'єкт, можна формулу (3.3), записати в наступному вигляді:

$$A(x,y,t) = \sum_{i=1}^{n_z} H_i(x,y,t) \cdot B_i(x,y,t) \cdot O_i(x,y,t) + F(x,y,t), \quad (3.5)$$

де  $x$  та  $y$  – просторові координати точки (ширина та висота зображення);

$t$  – номер кадру або час отримання кадру;

$i$  – порядковий номер області обробки (або об'єкта);

$n_z$  – число областей обробки (приймаємо 1 – область);

$H_i(x,y,t)$  – бінарна маска оброблюваних точок  $i$ -ї області;

$B(x,y,t)$  – бінарне зображення об'єкт/фон;

$O(x,y,t)$  – зображення об'єкта (яскравості точок);

$F(x,y,t)$  – зображення фону.

Бінарна маска оброблюваних точок  $i$ -ї області визначається за формулою:

$$H_i(x,y,t) = \begin{cases} 1, \text{ якщо точка належить області} \\ 0, \text{ якщо точка не належить області} \end{cases}, \quad (3.6)$$

Усереднення яскравостей точок фону виконується рекурсивно, тобто утворюється згладжене зображення фону. Тоді модель фону можна записати у такому вигляді:

$$F(x,y,t) = \varepsilon + A(x,y,t), \quad (3.7)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт експоненційного рекурсивного фільтра, що вибирається в діапазоні від 0 до 1.

Маючи оцінку фону, модель виявлення об'єкта  $W(x,y,t)$  (як такого що рухається, так і такого що зупинився) можна записати шляхом оцінки різниці зображення  $A(x,y,t)$  та зображення фону  $F(x,y,t)$ :

$$W(x,y,t) = A(x,y,t) - F(x,y,t). \quad (3.8)$$

Було проведено комп'ютерне моделювання (рисунок 3.2).

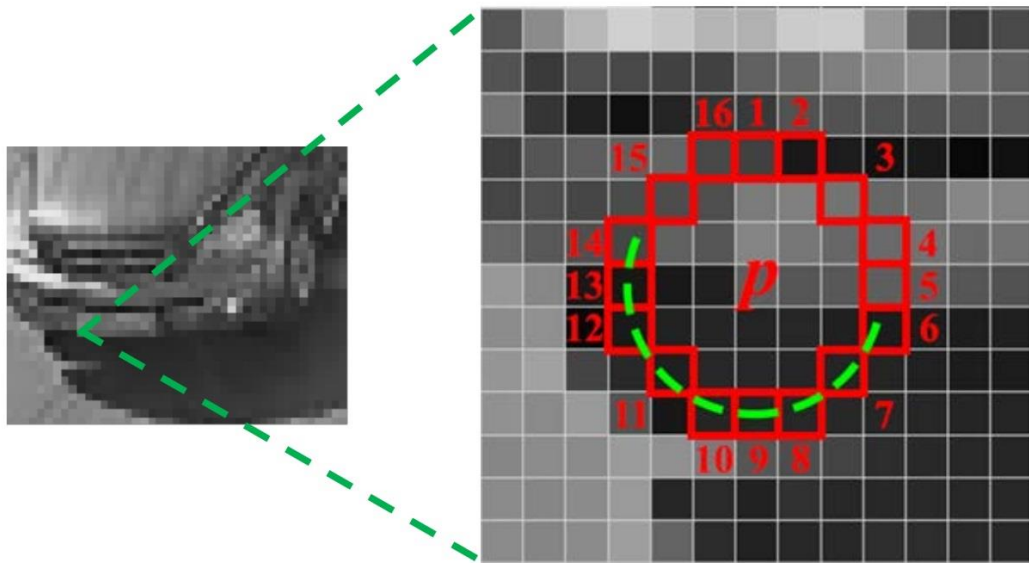


Рисунок 3.2 – Приклад комп'ютерного моделювання роботи моделі виявлення об'єкта  $D(x,y,t)$

Опис роботи моделі. Для кожної точки зображення (наприклад, для точки  $p$  на рисунку 3.2) формується околиця у вигляді кола з діаметром 7 пікселів. Таким чином, навколо поточної точки розглядаються 16 точок, і підраховується кількість точок, що мають значення яскравості менше або більше яскравості точки  $p$  з урахуванням заданого порога. Щоб точка  $p$  була прийнята як особлива, кількість точок, що перебувають на колі і пройшли перевірку, має дорівнювати 9 (вимоги роботи алгоритму). Для прискорення роботи алгоритму спершу перевірку проходять точки з номерами 1, 5, 9 та 13.

Таблиця 3.1 – Результати виявлення об'єктів інтересу

Номер експерименту	Кількість ТЗ	Вірних виявлень	Хибних виявлень
1	7	5	2
2	5	4	1
3	8	8	0
4	6	5	1
5	9	7	2

Мінімум 3 з них повинні задовольняти умові, інакше точка р відбраковується. В таблиці 3.1 представлені результати експериментальних досліджень виявлення об'єктів інтересу, що зупинилися, для відеопослідовностей, отриманих за допомогою інтелектуальної відеокамери.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було проведено дослідження математичної моделі виявлення та оцінки параметрів рухомих об'єктів, транспортних засобів. Ця модель заснована на адаптивній оцінці та оновленні фону; спільному аналізі різницевого та поточного зображень на етапі сегментації; стеженні за об'єктом на основі простеження сегментів або методу оптичного потоку, ініціалізованого особливими точками. Дана модель дозволяє виконувати виявлення об'єктів, що рухаються, і оцінку їх швидкості і розміру за різних умов спостереження. Частота правильних виявлень склала 91,2% при частоті помилок 1,2%. У цьому забезпечується збільшення частоти правильних виявлень на 5-10% проти відомих моделей, що ґрунтуються на різних методах оцінки фону, включаючи сучасні підходи на основі низькорангового наближення матриць.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ткачов В.М., Токарев В.В., Радченко В.О., Лебедев В.О. Проблема передачі даних типу BIG DATA у мобільній системі «Мультикоптер-сенсорна мережа» / В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2017. №2(42). - сс.154-157
2. Пат. 118921 Україна, МПК H04W 64/00. Спосіб передачі цифрових даних мультикоптерною системою між сегментами розподіленої сенсорної мережі та базовою станцією / В.М. Ткачов, В.В. Токарев - № u201704085; заявл. 24.04.2017; опубл. 28.08.2017. Бюл. № 16. 5с.
3. Радченко В.А., Токарев В.В., Ткачев В.М. Мобільна система передачі даних на базі динамічно реконфігурованих мультикоптерних пристроїв / В.О. Радченко, В.В. Токарев, В.М. Ткачов // Проблеми інформатизації: тези доповідей V - наук. - техн. конф., 13 - 15 лист. 2017р. - Харків, 2017. - сс.36.
4. Створення науково-методичних основ забезпечення живучості мережевих систем обміну інформацією в умовах зовнішнього впливу потужного НВЧ випромінювання: звіт про НДР (заключ.) № держреєстрації 0117U003916.: Ф76/109-2017 / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки; керівник Г. И. Чурюмов. – Харків, 2017. – 116 с.
5. Ruban I.V., Churyumov G.I., Tokarev V.V., Tkachov V.M. Provision of Survivability of Reconfigurable Mobile System on Exposure to High-Power Electromagnetic Radiation / I.V. Ruban, G.I. Churyumov, V.V. Tokarev, V.M. Tkachov // Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security: (ITS 2017). CEUR Workshop Processing., 30 nov. 2017 y. - Kyiv, 2017. - pp. 105-111.
6. Serkov A., Kravets V., Yakovenko I., Churyumov G., Tokariev V., Nannan W. Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles / A. Serkov, V. Kravets, I. Yakovenko, G. Churyumov, V. Tokariev, W.

Nannan // The 10th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies: (DESSERT'2019)., 5-7 June, 2019 y. - Leeds, 2019. - pp.26 - 29.

7. Серков О. А., Пустовойтов П. Є., Яковенко І. В., Лазуренко Б. О., Чурюмов Г. І., Токарев В. В., Наннан Ванг. Надширокосмугові технології в системах управління мобільними об'єктами. / О. А. Серков, П. Є. Пустовойтов, І. В. Яковенко, Б. О. Лазуренко, Г. І. Чурюмов, В. В. Токарев, Ванг Наннан // Сучасні інформаційні системи. - 2019. - Т.3, №2. - сс.22-27.

8. Серков О.А., Князев В.В., Лазуренко Б.О., Яковенко І.В., Чурюмов Г.І., Токарев В.В. Надширокосмугові технології в задачах забезпечення електромагнітної сумісності рухомих об'єктів / О.А. Серков, В.В. Князев, Б.О. Лазуренко, І.В. Яковенко, Г.І. Чурюмов, В.В. Токарев // Проблеми електромагнітної сумісності перспективних бездротових мереж зв'язку (ЕМС-2019):збірник наукових робіт четвертої міжн. наук.-техн. конф., 24 жовт. 2019 р. - Харків, 2019. - сс. 55-57.

9. Krivoulya G., Tokariiev V., Iilina I, Shcherbak V. Mathematical Model for Finding Probability of Detecting Victims of Man-Made Disasters Using Distributed Computer System with Reconfigurable Structure and Programmable Logic / G. Krivoulya, V. Tokariiev, I. Iilina, V. Shcherbak // IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology: (PIC S&T), 06-09 oct. 2020y. - Kharkiv, 2020. - pp.197 - 201.

10. Krivoulya G., Tokariiev V., Iilina I., Lebediev O., Shcherbak V. Algorithm of Iterations of Distribution of Subtasks Between «S-Bot» in One «Swarm-Bot» System // Proceedings of the 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: (COLINS 2022). CEUR Workshop Proceedings., 12-13 may. 2022 y. - Gliwice, Poland. - pp. 1531-1541.

11. Koshevoy N., Iilina I., Tokariiev V., Malkova A., Muratov V. Implementation Of The Gravity Search Method For Optimization By Cost Expenses Of Plans For Multifactorial Experiments // Radioelectronic and Computer Systems. – 2023. Vol. 1(105). - pp. 23-32. Doi:

10.32620/reks.2023.1.02.

12. Кривуля Г.Ф., Токарев В.В., Ільїна І.В., Кравець В.Є. Взаємодія між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system у фізичному неорганізованому середовищі, Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, №1(71). - сс.108-111. Doi: 10.26906/SUNZ.

13. Krivoulya G., Koshevoy N., Tokariiev V., Iilina I., Dubinsky D. Solving the Task of Topological Formation Intelligent Mobile «S-bots» for One «Swarm-bot» System // Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: (COLINS 2023). CEUR Workshop Proceedings., 20-21 april. 2023 y. - Kharkiv, Ukraine. - pp. 273-282.

14. Лебедєв О. Г., Бондар О. В., Самойленко Є. О., Черевко В. Г. Аналіз існуючих підходів до розрахунку кількісної оцінки живучості drones, Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №1(75). - сс.118-121. Doi:10.26906/SUNZ.2024.1.118.