Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

БІЛЯВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ РОМАНОВИЧ

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ФІКСАЦІЇ ПОРУШЕНЬ ПРАВИЛ ДОРОЖНЬОГО РУХУ/ COMPUTER-INTEGRATED SYSTEM FOR RECORDING VIOLATIONS OF TRAFFIC RULES

спеціальність: 174 — Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

освітньо-професійна програма - Автоматизація та програма комп'ютерно-інтегровані технології

Магістерська робота

Виконав студент групи АКІТм-21
В.Р. Білявський
_____
Науковий керівник:
к.т.н., доц. Гуменний П.В.
_____

Магістерську роботу допущено до захисту:
;____;_____2025р.
Завідувач кафедри
_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2025

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"
спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Завідувач кафедри СКС
_____ А.І.Сегін
"____"_____20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Білявський Віталій Романович
(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи
Комп'ютерно-інтегрована система фіксації порушень правил дорожнього руху/ Computer-integrated system for recording violations of traffic rules
науковий керівник роботи__к.т.н.,Гуменний П.В.

затверджені наказом по університету від 28 листопада 2024р. №938

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи 1 грудня 2025р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:
1.1. Технічні засоби забезпечення автоматичної системи розпізнавання дорожньо-транспортних злочинів.
2.1.Дослідження апаратних пристроїв для автоматичної системи розпізнавання автомобільних номерів
2.2. Дослідження алгоритмів та пристроїв систем розпізнавання автомобільних номерів

4. Основні питання, які потрібно розробити:
1. Аналіз принципів розпізнавання автомобільних номерів
2. Характеристика автоматичних систем розпізнавання автомобільних номерів
3. Розробка блок схеми моделі системи ідентифікації та розпізнавання номера автомобіля

5. Перелік графічного матеріалу
1. Блок схеми алгоритмів детекції та розпізнавання автомобільних номерів

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 2 грудня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОБ'ЄКТІ УПРАВЛІННЯ	.	
2	ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПРИЗНАЧЕНІ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ ПОРУШНИКІВ ПРАВИЛ ДОРОЖНЬОГО		
3	. РЕАЛІЗАЦІЯ СХЕМИ ТА НАЛАШТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО НОМЕРА ПРАВОПОРУШНИКА		

Студент _____ Віталій БІЛЯВСЬКИЙ
(підпис)

Керівник роботи _____ к.т.н., доц, Петро ГУМЕННИЙ
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Білявський В. Р. Комп’ютерно-інтегрована система фіксації порушень правил дорожнього руху. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» – Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2025.

У роботі розроблено комп'ютерно-інтегровану систему автоматичної фіксації порушень правил дорожнього руху на основі нейронних мереж глибокого навчання. Досліджено принципи побудови модульної архітектури системи з незалежними компонентами обробки відеопотоків, персистентного зберігання даних та моніторингу. Проаналізовано сучасні методи розпізнавання номерних знаків із застосуванням згорткових нейронних мереж та GPU-прискорення.

ANOTATION

Biliavskyi V. R. Computer-Integrated System for Traffic Violation Detection. – Manuscript.

Research for obtaining the educational degree "Master" in specialty 174 "Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics", educational-professional program "Automation and Computer-Integrated Technologies" – West Ukrainian National University. Ternopil, 2025.

The work develops a computer-integrated system for automatic traffic violation detection based on deep learning neural networks. The principles of constructing a modular system architecture with independent components for video stream processing, persistent data storage, and monitoring are investigated. Modern methods of license plate recognition using convolutional neural networks and GPU acceleration are analyzed.

ЗМІСТ

ВСТУП……. 8

1. 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОБ'ЄКТІ УПРАВЛІННЯ …… 11

1.1 Особливості задачі розпізнання автомобільних номерів при порушенні правил дорожнього руху…….. 11

1.2 Аналіз систем розпізнавання номерних знаків автомобілів…… 20

1.3 Аналіз методів ідентифікації номерного знаку транспортного засобу…….. 31

2. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПРИЗНАЧЕНІ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ ПОРУШНИКІВ ПРАВИЛ ДОРОЖНЬОГО …… 36

2.1 Апаратні характеристики та властивості відеокамер для фіксації автомобільного номера порушника правил дорожнього руху……... 36

2.2 Дослідження апаратних засобів збереження опрацювання та передачі відеоданих у системі спостереження……. 44

2.3 Структура програмної системи розпізнавання номерного знаку автомобіля…… 51

3. РЕАЛІЗАЦІЯ СХЕМИ ТА НАЛАШТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО НОМЕРА ПРАВОПОРУШНИКА…….. 59

3.1 Розробка алгоритмів ідентифікації та розпізнавання номерного знака транспортного засобу …… 59

3.2 Розробка програмного модуля ідентифікації та розпізнавання номерних знаків транспортних засобів у середовищі MATLAB…… 67

3.3 Реалізація Simulink моделі детекції номерного знака правопорушника правил…… 81
ВИСНОВКИ ……... 87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 89
ДОДАТОК А.……...……... 92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ –автоматизована система управління

ДСТУ – державний стандарт України

КМ – комп’ютерна мережа

КС − комп'ютерна система

НМ − нейрона мережа

ОС − операційна система

ПЗ − програмне забезпечення

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема безпеки дорожнього руху залишається однією з найгостріших соціальних та економічних проблем сучасності. Одним з ключових факторів, що важливі для безпеки дорожнього руху, є рівень дисципліни учасників руху та ефективність контролю за дотриманням ПДР. Стрімкий розвиток інформаційних технологій, систем комп'ютерного зору, штучного інтелекту і застосування підключених пристроїв (IoT) забезпечує інноваційні шляхи для оптимізації моніторингу.. Комп'ютерно-інтегровані системи (КІС) здатні забезпечити неперервний контроль дорожньої ситуації, автоматичне виявлення порушень, ідентифікацію транспортних засобів та формування доказової бази без безпосередньої участі людини.

Актуальність розробки комп'ютерно-інтегрованої системи фіксації порушень ПДР для України обумовлена необхідністю модернізації системи контролю за дорожнім рухом, зменшення кількості ДТП, підвищення рівня безпеки учасників руху та формування культури відповідального водіння. Крім того, впровадження таких систем сприяє оптимізації роботи правоохоронних органів, зменшенню корупційних ризиків та забезпеченню прозорості процесу притягнення порушників до відповідальності.

Мета роботи – розробка комп'ютерно-інтегрованої системи автоматичної фіксації порушень правил дорожнього руху.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання**:**

1. Проаналізувати архітектуру та функціональні можливості поширених систем фото-відеофіксації, оцінити їхні експлуатаційні характеристики, виявити проблемні аспекти, що потребують вдосконалення, та, відповідно, сформулювати набір вимог до створюваної (проектованої) системи.

2. Дослідити сучасні методи та алгоритми комп'ютерного зору для детектування та відстеження транспортних засобів, розпізнавання номерних пластин та класифікації типів порушень.

3. Обґрунтувати вибір апаратного забезпечення та програмних засобів для реалізації системи.

4. Розробити алгоритми виявлення типових порушень ПДР

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого контролю за забезпеченням дотримання правил дорожнього руху.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та програмно-апаратні засоби побудови комп'ютерно-інтегрованих систем автоматичної фіксації порушень правил дорожнього руху.

Методи дослідження. У роботі використовуються методи системного аналізу методи комп'ютерного зору та обробки зображень.

Наукова новизна отриманих результатів. Розроблено модульну систему фіксації порушень ПДР на основі нейронних мереж глибокого навчання з чітким розділенням функціоналу між компонентами обробки відеопотоків на GPU, персистентного зберігання та моніторингу, що забезпечує високу точність розпізнавання номерних знаків у режимі реального часу та можливість адаптивного масштабування системи.

Практичне значення отриманих результатів. Реалізовано комп'ютерно-інтегрована система фіксації порушень ПДР може бути впроваджена в роботу правоохоронних органів, органів місцевого самоврядування та організацій, що займаються забезпеченням безпеки дорожнього руху.

Апробації. Білявський В.Р. Автоматизована система управління технологічним процесом фіксації порушень правил дорожнього руху/ В. Білвський, П. Гуменний, Д. Мулько, Р.Ільків// АКІТ-2025.-Тернопіль.-с.39-42.

Гуменний П.В. Комп'ютерно-інтегрована система фіксації порушень правил дорожнього руху з використанням графічного інтерфейсу операційної

системи WINDOWS/ П.В. Гуменний, В.Р.Білявський, Р.М Ільків // II Всеукраїнська науковопрактична конференція “Інноваційні підходи до розвитку технологій та економіки”.- Свалява.- 2025.- с.111-115.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОБ'ЄКТІ УПРАВЛІННЯ

1.1 Особливості задачі розпізнання автомобільних номерів при порушенні правил дорожнього руху

Зараз проявляється тенденція до стрімкого збільшення кількості транспортних засобів простежується як в Україні, так і у світовому масштабі. Інтенсивне зростання рівня автомобілізації населення спричиняє істотне навантаження на дорожню інфраструктуру, що, у свою чергу, робить нагальним завдання створення та вдосконалення умов безпечної експлуатації транспортних мереж. Забезпечення безпеки учасників дорожнього руху є одним із ключових пріоритетів державної політики, а статистичні дані, оприлюднені правоохоронними органами України [1], демонструють проблемну ситуацію: кількість смертельних випадків унаслідок дорожньо-транспортних пригод перевищує показники загибелі, пов'язані з військовими діями на сході країни під час російської агресії. На рисунку 1.1 подано графічну інтерпретацію статистики загибелі та травмування людей у ДТП. Така критична ситуація актуалізує потребу у впровадженні сучасних технічних рішень для моніторингу та контролю дотримання правил дорожнього руху.

Однією з ключових технологій, що забезпечують підвищення рівня контролю, є системи автоматичного розпізнавання номерних знаків транспортних засобів, які дають можливість ідентифікувати порушників без залучення працівників патрульної поліції. Завдання визначення державних номерних знаків у процесі фіксації порушень має низку особливостей, що вирізняють його серед класичних задач комп'ютерного розпізнавання образів. Основними чинниками, які ускладнюють створення таких систем, є необхідність врахування широкого діапазону умов освітлення, оскільки обладнання повинно коректно працювати цілодобово й за будь-яких

погодних умов, включно з нічною зйомкою, засвіченням від сонця чи фарами, опадами та туманом; рухомість транспортних засобів, що вимагає високої швидкості опрацювання відеопотоку та мінімізації ефектів розмиття; геометричні спотворення, пов'язані з різними кутами огляду та перспективними деформаціями; можливі забруднення або пошкодження номерних знаків, які можуть частково приховувати символи; а також різноманітність типів державних номерів, що різняться за кольоровими схемами, розмірами, формою та шрифтами.

Подолання цих викликів передбачає застосування системного підходу, який поєднує методи попередньої обробки зображень, алгоритми комп'ютерного зору, технології глибокого навчання та спеціалізовані апаратні засоби, здатні забезпечити стабільну роботу системи в режимі реального часу.

Рисунок 1.1- Графік кількості травмованих та загиблих людей внаслідок ДТП (2023-2025)[1]

Аналіз офіційних статистичних звітів правоохоронних структур держави [2] демонструє, що домінуючим фактором виникнення аварійних ситуацій на дорогах виступає недотримання водіями встановлених

швидкісних обмежень. Кількісний розподіл причин дорожньо-транспортних подій ілюструє рисунок 1.2, який наочно відображає критичну роль порушень швидкісного режиму у структурі аварійності.

Рисунок 1.2- Причини виникнення ДТП (перше півріччя 2025 року)

Превалювання саме цього типу порушень підкреслює актуальність розробки та впровадження автоматизованих систем контролю швидкості руху транспортних засобів, здатних забезпечити неперервний моніторинг дотримання правил дорожнього руху без залучення значних людських ресурсів. Технологічні рішення у сфері розпізнавання номерних знаків стають критично важливим елементом інфраструктури безпеки дорожнього руху, дозволяючи оперативно ідентифікувати порушників та формувати доказову базу для притягнення їх до відповідальності.

Ключовим елементом забезпечення безпеки на транспорті є комплексне впровадження технологій глобального відеомоніторингу та автоматизованої фіксації дорожніх подій. Для ефективного контролю за дотриманням ПДР необхідно формувати інтегровану інтелектуальну систему відеоспостереження, що функціонує як багаторівневий апаратно-програмний комплекс. До її структури входять цифрові камери високої роздільної здатності, радари для вимірювання швидкості руху транспортних засобів, оптичні системи з варіофокальними об’єктивами, серверне обладнання для оброблення та довготривалого зберігання інформації, програмні модулі для автоматичного розпізнавання державних номерних знаків, а також засоби візуалізації даних та диспетчерського керування. Функціонал таких систем не

обмежується лише фіксацією порушень правил дорожнього руху, оскільки вони одночасно виконують важливу роль у протидії незаконним заволодінням транспортними засобами. Завдяки можливості швидкого виявлення автомобілів, що перебувають у розшуку, подібні комплекси стають дієвим інструментом боротьби зі злочинністю на транспорті. Актуальність цього напряму підтверджується статистикою правоохоронних органів, по кількості викрадень автомобілів упродовж останніх років (рисунок 1.3). Інтеграція баз даних викрадених транспортних засобів із системами автоматичного розпізнавання номерів дає змогу сформувати ефективний механізм протидії таким правопорушенням, забезпечуючи автоматичне інформування відповідних служб у разі виявлення розшукуваного автомобіля в зоні дії системи моніторингу.

Рисунок 1.3- Кількість викрадених автомобілів (2023-2025 р.) [3]

Ключовим елементом підтримання належного рівня транспортної безпеки є всебічне застосування технологій глобального відеомоніторингу та

систем автоматичної фіксації дорожніх інцидентів. Для результативного контролю за дотриманням правил дорожнього руху необхідне створення комплексної інтегрованої системи спостереження, що функціонує як багатокомпонентний апаратно-програмний комплекс. До його складу зазвичай входять цифрові камери високої роздільної здатності, радіолокаційні засоби вимірювання швидкості, оптичні системи з варіофокальними об’єктивами, сервери для оброблення й зберігання великих обсягів даних, програмні модулі для розпізнавання державних номерних знаків, а також засоби відображення інформації та диспетчерського керування. Потенціал таких систем не обмежується лише фіксацією правопорушень, адже вони забезпечують і швидке виявлення транспортних засобів, що перебувають у розшуку. Ця функція стає особливо важливою з огляду на зростання кількості випадків незаконного заволодіння автомобілями, що підтверджують відповідні статистичні спостереження правоохоронних органів (рисунок 1.3). Інтеграція інформаційних баз про викрадені транспортні засоби з технологіями автоматичного розпізнавання номерних знаків формує дієвий механізм протидії злочинності, дозволяючи своєчасно повідомляти правоохоронні органи про появу розшукуваного автомобіля в зоні контролю системи.

Ефективне виконання «функцій безпекового контролю потребує визначення оптимальної концепції відеоспостереження. Залежно від технічних характеристик камер і особливостей їхнього розміщення, виділяють три основні типи моніторингу» [4]. Перший — відкрите демонстративне спостереження, що передбачає встановлення камер у потенційно небезпечних зонах із обов’язковим інформуванням учасників руху за допомогою спеціальних попереджувальних знаків. Такий підхід має виражений превентивний ефект, стимулюючи водіїв до більш відповідальної поведінки. Другий тип — відкрите малопомітне спостереження, для якого характерне використання камер, замаскованих в архітектурному оточенні або елементах дорожньої інфраструктури. Метою цього варіанту є мінімізація

психологічного впливу на учасників руху та забезпечення природності їхньої поведінки. Третій тип — приховане спостереження, що реалізується за допомогою мініатюрних камер із pin-hole об’єктивами, які практично непомітні. Такий режим використовують переважно у спеціальних операціях, коли необхідно виявляти автомобілі, що перебувають у розшуку, або збирати докази систематичних порушень.

Вимоги до «сучасних систем контролю зумовлюють необхідність їх побудови на основі інтелектуальних технологій та алгоритмів штучного інтелекту. Основною стратегічною метою впровадження таких технологій є максимальне зменшення участі людини у процесах ідентифікації порушень та розшукуваних транспортних засобів. Це викликано обмеженнями, властивими системам, що покладаються на оператора-людину» [4]. Зокрема, ручний аналіз відеопотоків не дозволяє ефективно обробляти великі масиви даних, що надходять від численних камер одночасно. Крім того, суб’єктивність оцінки створює ризики корупційних проявів і необ’єктивних рішень. Людина не здатна швидко й точно аналізувати просторово-часові залежності між подіями, що відбуваються у різних локаціях, а тривала монотонна робота призводить до зниження концентрації та загального рівня уваги. Це, своєю чергою, зменшує швидкість реагування на небезпечні ситуації та погіршує загальну якість моніторингу.

Сучасні підходи до забезпечення безпеки дорожнього руху базуються на використанні цифрових систем відеоспостереження, інтегрованих у багатофункціональні комплекси безпеки. Такі комплекси здатні автоматично виявляти порушення, розпізнавати реєстраційні номери транспортних засобів, формувати записи у базах даних і генерувати адміністративні документи про накладення штрафів. Загальну архітектуру інтелектуальної системи автоматичного розпізнавання номерних знаків транспортних засобів наведено на рисунку 1.3.

Рисунок 1.3- Структура інтелектуальної системи розпізнавання автомобільних номерних знаків

Структурна схема інтелектуальної системи автоматичного розпізнавання номерних знаків (рисунок 1.3) транспортних засобів відображає взаємодію функціональних модулів, що забезпечують повний цикл обробки відеоданих — від моменту отримання зображення до формування аналітичної інформації та передачі сповіщень уповноваженим органам.

Початковим елементом системи є «комплекс камер відеоспостереження», розташованих у зонах контролю. Цифрові камери високої роздільної здатності виконують первинне захоплення відеопотоку, забезпечуючи достатню якість зображення для подальших алгоритмів детекції та розпізнавання. Відеодані в реальному часі передаються до наступного етапу – «модуля попередньої обробки відео»[6].

У модулі попередньої обробки виконується фільтрація шумів, корекція яскравості й контрастності, стабілізація кадру, а також виділення області інтересу – фрагмента, що містить транспортний засіб або його номерний знак. Це дозволяє зменшити обсяг даних та підвищити точність подальших обчислень. Оброблені кадри надходять до «модуля розпізнавання номерних знаків», який є центральною ланкою системи.

Модуль розпізнавання реалізує алгоритми комп'ютерного зору та нейронні моделі, що виконують детекцію, сегментацію та оптичне розпізнавання символів (OCR). Результатом роботи модуля є цифрове значення розпізнаних символів державного номерного знаку та метадані (час, координати, імовірність розпізнавання). Отримана інформація паралельно передається до «бази даних транспортних засобів», де виконується зіставлення з реєстрами викрадених або розшукуваних авто, та до «аналітичного модуля», який здійснює оцінку поведінкових і просторово-часових параметрів.

Аналітичний модуль виконує інтеграцію даних з різних джерел, аналізує маршрути руху транспортних засобів, формує статистичні показники та визначає потенційно небезпечні події. У випадку збігу з даними розшуку або виявлення нетипової активності система автоматично генерує службове повідомлення. Фінальним елементом є «диспетчерська система / модуль оповіщення», який відповідає за візуалізацію результатів, формування звітів і передачу сповіщень до відповідних органів у режимі реального часу.

Таким чином, структура забезпечує безперервний, повністю автоматизований процес виявлення порушень і транспортних засобів особливого контролю. Завдяки модульному принципу побудови система характеризується високою масштабованістю, можливістю інтеграції зі сторонніми інформаційними сервісами та стійкістю до значних обсягів відеоданих, що робить її ефективним інструментом забезпечення транспортної безпеки.

Основою сучасних інтелектуальних комплексів фіксації порушень правил дорожнього руху є цифрові системи відеоспостереження, побудовані на використанні IP-камер. На рисунку 1.4 представлена узагальнена структура такої мережі, яка забезпечує передачу відеосигналу та службової інформації на центральний відеосервер Національної поліції, де відбувається подальша автоматизована обробка подій. Для розпізнавання номерних знаків

у кадрах відеофіксації застосовуються алгоритми контурного аналізу: контури символів, отримані з обробленого зображення, співставляються з еталонними контурами різних шрифтових наборів. Умовно процес розпізнавання охоплює попередню обробку відеокадру, виділення фрагментів із текстовою інформацією та аналіз форми символів.

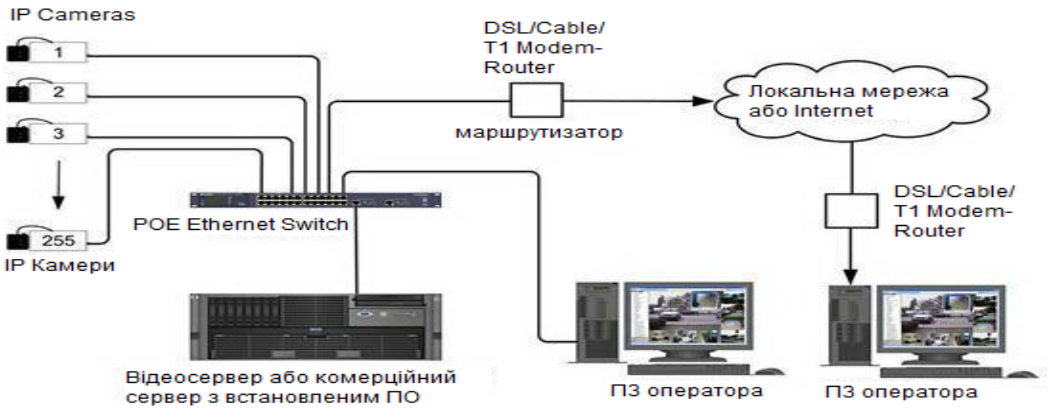


Рисунок 1.4 – Схема побудови IP відео-спостереження

Точність сучасних систем автоматичного читання номерних знаків може досягати приблизно 95 %, проте такий результат можливий лише за дотримання низки технічних вимог. Належний результат забезпечує оптимальне розташування камери відносно траєкторії руху транспортного засобу, оскільки неправильний кут огляду спричиняє спотворення форми символів. Важливим є також достатній розмір зображення номерного знака у кадрі, що досягається відповідною відстанню, фокусною відстанню та якістю оптики. Значну роль відіграє рівень освітлення ділянки, де здійснюється зчитування інформації, адже недостатня освітленість підвищує шум і зменшує контрастність контурів символів. Рекомендовано застосовувати розсіяне освітлення, яке забезпечує рівномірне підсвічування без різких відблисків, а також підтримувати освітленість не нижче 50 люкс, оскільки при значеннях понад 150 люкс розпізнавання є стабільнішим. За потреби використовується інфрачервоне підсвічування, проте ефективність його роботи залежить від ступеня забруднення номерної пластини: нерівномірне

або надмірне забруднення знижує контрастність і ускладнює виділення контурів.

У реальних умовах експлуатації забезпечити стабільні параметри освітленості часто складно через сезонні та погодні зміни. Зменшення кількості світла спричиняє появу цифрового шуму, що ускладнює подальший аналіз зображення. Частковим вирішенням цього питання є застосування чорно-білих камер, які мають значно більшу світлочутливість порівняно з кольоровими моделями. Типові показники світлочутливості для монохромних камер становлять приблизно 0,4–0,01 люкс, тоді як кольорові пристрої потребують на порядок вищої освітленості, співставної з умовами легких сутінків. Такий підхід дозволяє зберігати чіткість зображення та контрастність символів навіть за недостатнього природного або штучного освітлення.

1.2 Аналіз систем розпізнавання номерних знаків автомобілів

Глобальний «сегмент технологій автоматичного розпізнавання номерних знаків (ANPR — Automatic Number Plate Recognition) протягом останніх років демонструє стале зростання, що зумовлено підвищенням вимог до організації дорожньої безпеки та активним розвитком інтелектуальних транспортних інфраструктур. Аналітика показує, що світовий ринок таких систем збільшится з приблизно 3,77 млрд доларів США у 2024 році до близько 9,27 млрд доларів у 2030 році, а середньорічний темп зростання становитиме орієнтовно 9,3% (рисунок 1.5). Найдинамічнішим регіоном у цьому сегменті вважається Азіатсько-Тихоокеанський регіон, для якого очікується зростання на рівні 10,8% у 2025–2030 роках. Лідируючі позиції на ринку займають стаціонарні комплекси ANPR, частка яких у 2024 році досягала 57,9%, при цьому мобільні рішення демонструють найвищі темпи нарощування і можуть збільшуватися приблизно на 9,7% щороку» [7].

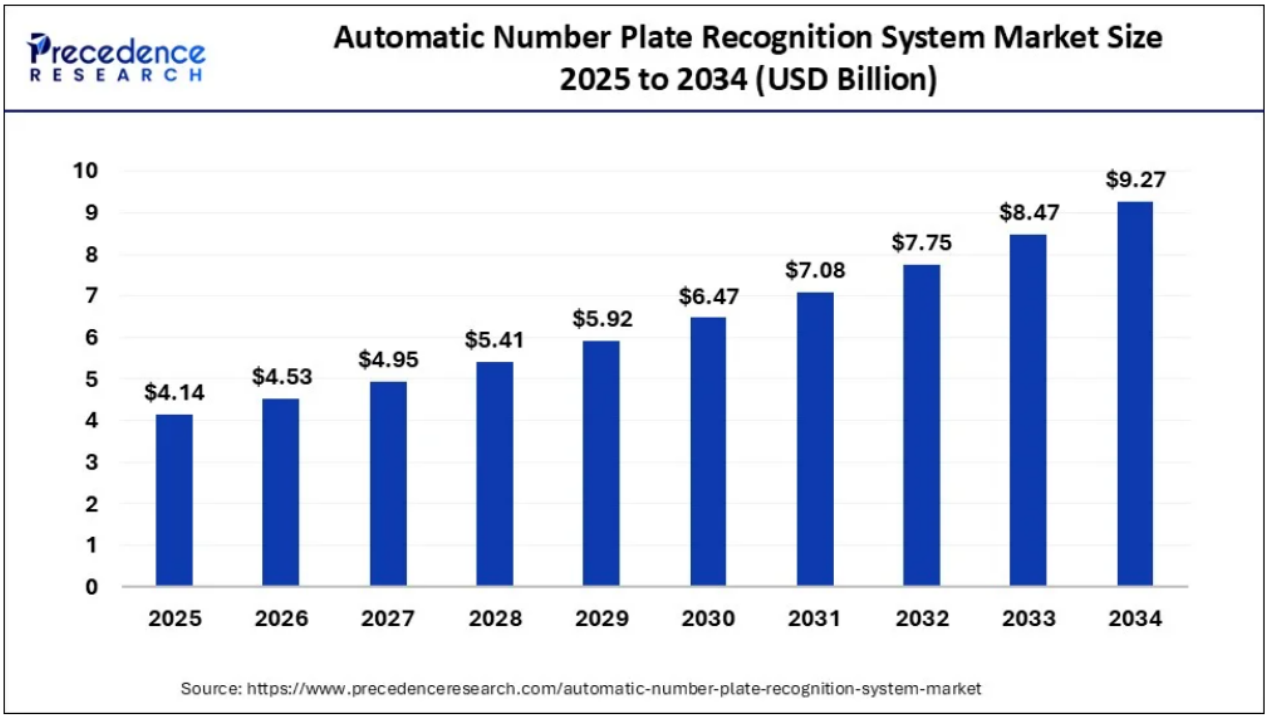


Рисунок 1.5- Прогноз зростання ринку ANPR у світі впродовж (2025-2034 р.)

Зростання ринку обумовлене низкою чинників: постійним розширенням міських територій, збільшенням інтенсивності транспортних потоків, активною підтримкою державних проєктів із впровадження інтелектуальних транспортних систем, а також швидким розвитком технологій штучного інтелекту та систем комп'ютерного зору. Сучасні комплекси ANPR відзначаються високою точністю обробки зображень, здатністю працювати за несприятливих умов та широкими можливостями інтеграції з інформаційними платформами різного рівня.

У 2024 році сегмент стаціонарних систем автоматичного розпізнавання номерних знаків (ANPR) посідав домінантне положення на ринку. Зростання чисельності населення безпосередньо корелює зі збільшенням транспортного потоку на автомобільних шляхах (рисунок 1.6). Стаціонарні комплекси ANPR типово інтегруються у міську та дорожню інфраструктуру, а саме: на світлофорах, платних дорогах (пунктах стягнення мита) або контрольно-пропускних пунктах. Їхнє основне призначення -

автоматичне та високошвидкісне розпізнавання номерних знаків транспортних засобів, що перебувають у русі. Ці системи характеризуються нерухомою інсталяцією та використовуються виключно у заздалегідь визначених локаціях. Завдяки своїй конструкції та функціоналу, стаціонарна система ANPR ідеально адаптована для ефективної роботи в умовах інтенсивного дорожнього руху. Вона забезпечує безперервний моніторинг і контроль номерних знаків, що робить її оптимальним рішенням для постійного нагляду.

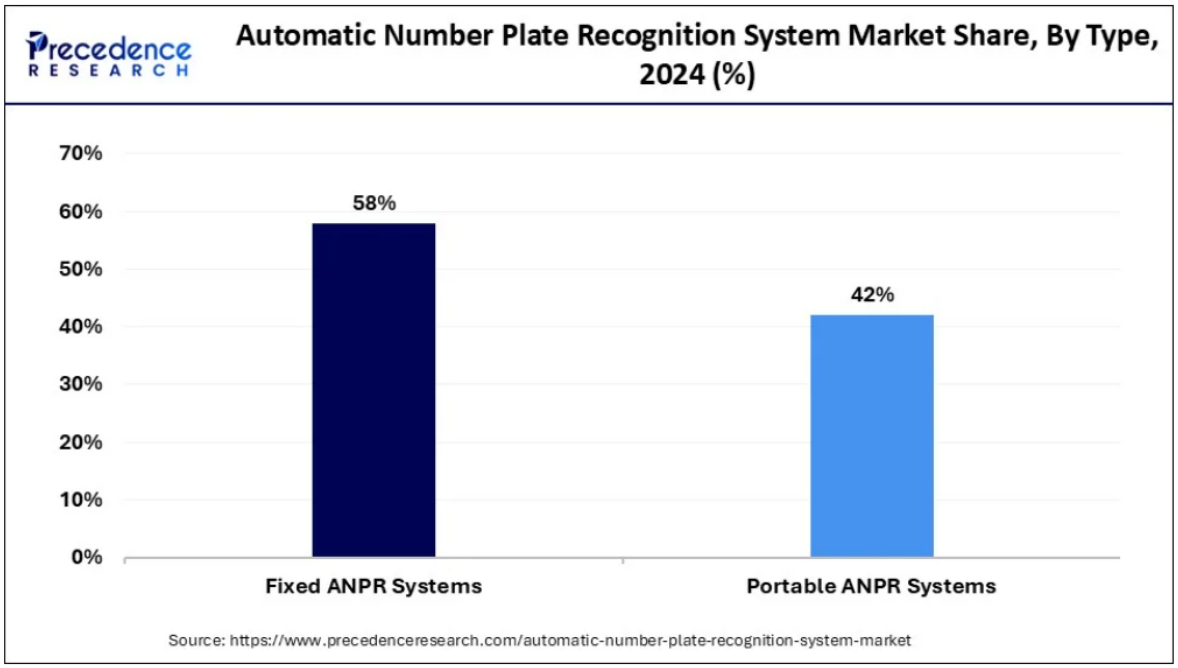


Рисунок 1.6- Розподіл ринку ANPR (стаціонарні 58%, портативні 42%)

Сучасна парадигма організації дорожнього руху та забезпечення безпеки на автомобільних шляхах ґрунтується на системному впровадженні передових технологій автоматичної фіксації правопорушень. В Україні та на міжнародній арені сформувався диверсифікований ринок спеціалізованих технічних комплексів, які за принципами функціонування, функціональним навантаженням та архітектурною організацією класифікуються на кілька типологічних груп. Реалізований порівняльний аналіз дає змогу ідентифікувати ключові детермінанти ефективності, виокремивши структурні переваги та системні вади основних технологічних рішень.

Фундаментальним елементом національної інфраструктури автоматичного контролю виступає комплекс КАСКАД вітчизняної розробки. Цей стаціонарний комплекс, інтегрований у вигляді масивного підвісного блока з розширеним кутом огляду, становить основу системи фіксації порушень ПДР в Україні (рисунок 1.7). Його технологічна основа базується на застосуванні інноваційних алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання, що гарантує цілодобовий автоматичний режим функціонування. Технічний потенціал системи охоплює дальність дії до 50-60 метрів, можливість одночасного моніторингу до 4 смуг руху та швидкість обробки даних до 3 кадрів на секунду з подальшою трансляцією інформації через канали Ethernet або GSM/LTE.

Рисунок 1.7- Система КАСКАД

Функціональний спектр КАСКАДУ, незважаючи на домінування фіксації перевищення швидкості як базового завдання, поступово диверсифікується. В основі системи лежить використання апаратних засобів, таких як камери машинного зору, які забезпечують відеоспостереження та фіксацію порушень, а також 3D-радар. Локальні вузли системи зберігають інформацію про зафіксовані порушення, що включає фото, відео, параметри швидкості та ідентифікаційні дані транспортних засобів, забезпечуючи при цьому відмовостійкість у випадку нестабільного зв’язку з центральним сервером. Програмна частина КАСКАД складається із центрального

аналітичного модуля, системи розпізнавання номерних знаків (ANPR), а також веб-інтерфейсу для операторів та аналітиків.

Сучасні модифікації інтегрували можливості розпізнавання руху по смузі громадського транспорту та перетину подвійної суцільної лінії розмітки. Автоматизований процес передачі даних до Центру обробки даних Національної поліції забезпечує оперативність адміністрування правопорушень. Серед ключових переваг «системи акцентують національне виробництво, що зумовлює адаптацію під специфіку українських номерних знаків та повномасштабну інтеграцію з інформаційними системами МВС. Важливим соціальним ефектом стало зниження кількості ДТП у місцях інсталяції комплексів втричі» [9].

Водночас, системі притаманні структурні недоліки: відносно обмежений функціонал у порівнянні з міжнародними аналогами, відсутність уніфікованого стандарту роботи всіх камер, можливість тактичного обходу через тимчасове уповільнення руху безпосередньо перед зоною контролю, а також юридичні суперечності щодо притягнення до відповідальності власника транспортного засобу замість безпосереднього винуватця порушення.

Система INRIX Roadway Analytics, «що базується на зборі даних від підключених транспортних засобів (probe data), GPS та інших джерел, функціонує як хмарна платформа для аналітики, прогнозування трафіку та візуалізації дорожньої ситуації» (рисунок 1.8). Апаратна складова INRIX мінімальна, що значно «знижує витрати на розгортання інфраструктури, оскільки відсутня необхідність у встановленні камер чи радарів. Серед ключових переваг INRIX — гнучка хмарна аналітика, масштабованість, застосування штучного інтелекту для прогнозування заторів та інцидентів, а також можливість контролю роботи світлофорів без додаткових сенсорів». Однак ефективність системи залежить від рівня проникнення підключених автомобілів у регіоні, а її функціонал не передбачає фіксацію правопорушень у юридично значимому сенсі, що обмежує її застосування у контексті

штрафних санкцій. Крім того, INRIX потребує надійного інтернет-з'єднання і забезпечення конфіденційності зібраних даних[10].

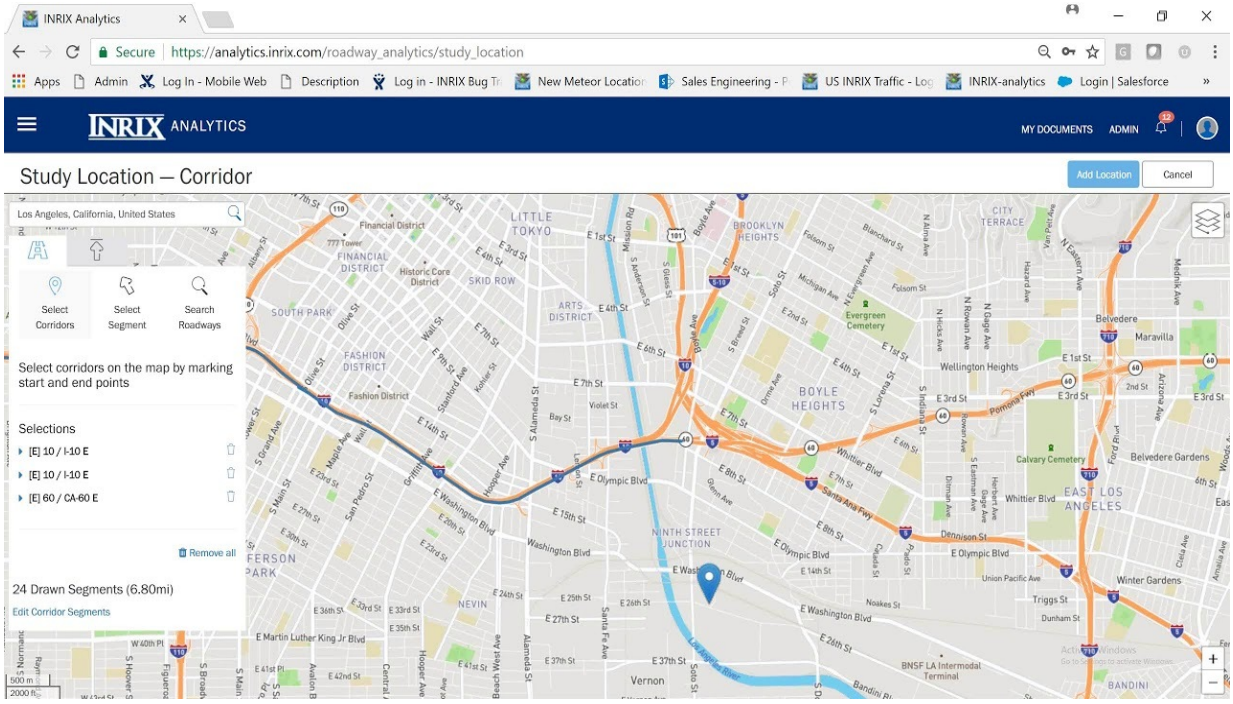


Рисунок 1.8- Система INRIX Roadway Analytics[12]

Іншою провідною системою є рішення компанії «Kapsch TrafficCom , яка пропонує повноцінний стек інтелектуальних транспортних систем (ITS), що поєднують апаратні та програмні компоненти. Апаратна частина включає дорожні станції (Roadside Units), камери, сенсори, а також модулі V2X для обміну інформацією між транспортними засобами та інфраструктурою. Програмна складова представлена централізованою платформою Connected Mobility Control Center (CMCC), що керує мережею та аналізує зібрані дані, а також застосовує машинне навчання для прогнозування аномалій і інцидентів, що дозволяє автоматизувати реакцію системи управління трафіком». Перевагами рішення Kapsch є «комплексність і модульність, підтримка V2X-технологій, масштабованість, а також можливість інтеграції з іншими системами через відкриті API. Недоліками слід вважати значні капіталовкладення у фізичну інфраструктуру, складність налаштування і підтримки, а також операційні витрати на обслуговування широкомасштабної мережі» [13].

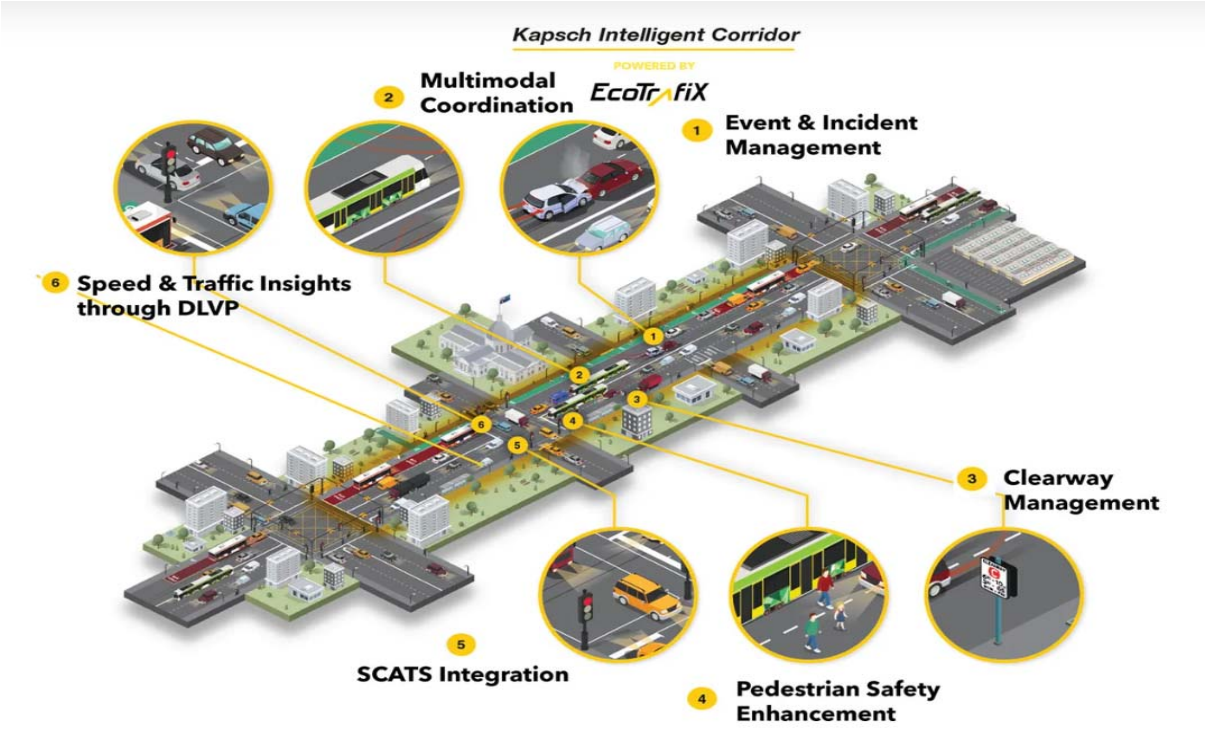


Рисунок 1.9- Система Kapsch TrafficCom

Kapsch є частиною мережі AIMES (Австралійська інтегрована мультимодальна екосистема). AIMES — це перша і найбільша у світі екосистема для масштабного тестування нових транспортних технологій у складних міських умовах. Вона охоплює понад 100 кілометрів дорожньої мережі Мельбурна.

У контексті систем розпізнавання автомобільних номерів (ANPR) інтеграція таких інтелектуальних технологій є надзвичайно важливою. Використання датчиків і штучного інтелекту дозволяє підвищити точність і швидкість розпізнавання номерних знаків, що сприяє оперативному виявленню порушень правил дорожнього руху, оптимізації транспортних потоків та підвищенню безпеки на дорогах. Застосування машинного навчання і прогнозних моделей допомагає не лише фіксувати правопорушення, а й прогнозувати можливі проблемні ситуації, що робить систему більш адаптивною і ефективною.

Система КАСКАД за архітектурною організацією базується на розподіленій багаторівневій моделі типу клієнт-сервер, яка складається з

трьох основних функціональних компонентів: модуль обробки та накопичення відеоданих, розміщений на контрольному рубежі; мережева підсистема обробки операцій, що забезпечує передачу та синхронізацію даних; аналітична клієнтська платформа для обробки виявлених подій. Така система дозволяє працювати з територіально-розподіленою топологією, що використовується для панорамного спостереження за дорожньою ситуацією, архівування відеоматеріалів та перевірки за спеціальними реєстрами на центральних пунктах управління або в ситуаційних центрах.

Комплекс технічного забезпечення включає (рисунок 1.11) «спеціалізовані камери відео моніторингу (1), радари для вимірювання швидкості (3), системи додаткового освітлення (2) для забезпечення якості зображення в різні періоди отримання, а також промислові обчислювальні модулі (4) з достатньою продуктивністю для обробки великих обсягів відеоданих, а також канал зв'язку (5) з автомобілем поліції». Програмне забезпечення складається з бібліотек розпізнавання номерних знаків, модулів обробки виявлених подій та модулів аналітичної перевірки за реєстрованими записами. Система забезпечує «розпізнавання однорядних номерів для нерухомих та динамічних транспортних засобів з ймовірністю коректного розпізнавання не менше 90% як у денний, так і в нічний період за умови чіткої видимості номерних позначень»[11].

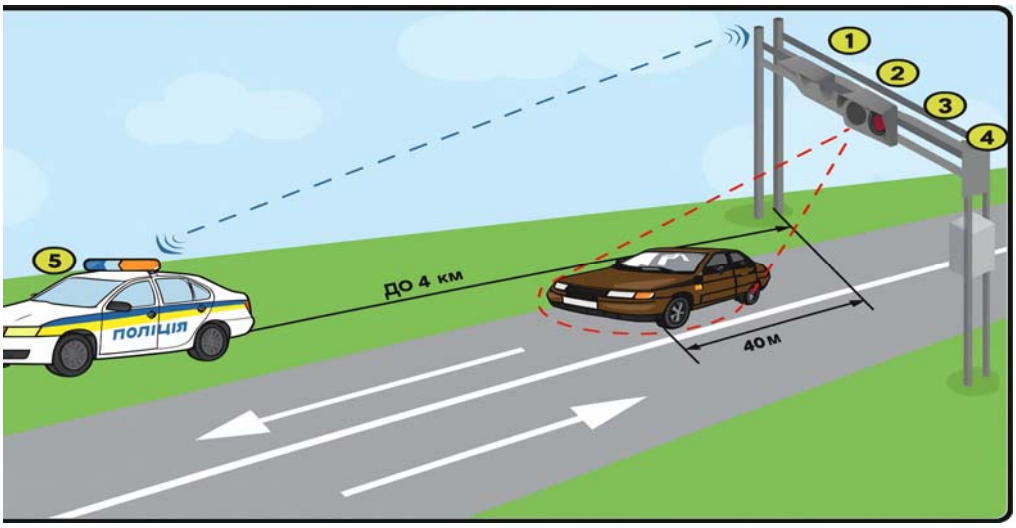


Рисунок 1.11- Схема організації роботи комплекса КАСКАД

Для ефективного оперативного реагування на факт перетину транспортними засобами (ТЗ) зони контролю та подальшого автоматизованого пошуку ТЗ або їх власників, що ідентифіковані у розшукових базах даних, система розгортається згідно з територіально-розподіленою архітектурою, структурна схема якої представлена на рисунку 1.12

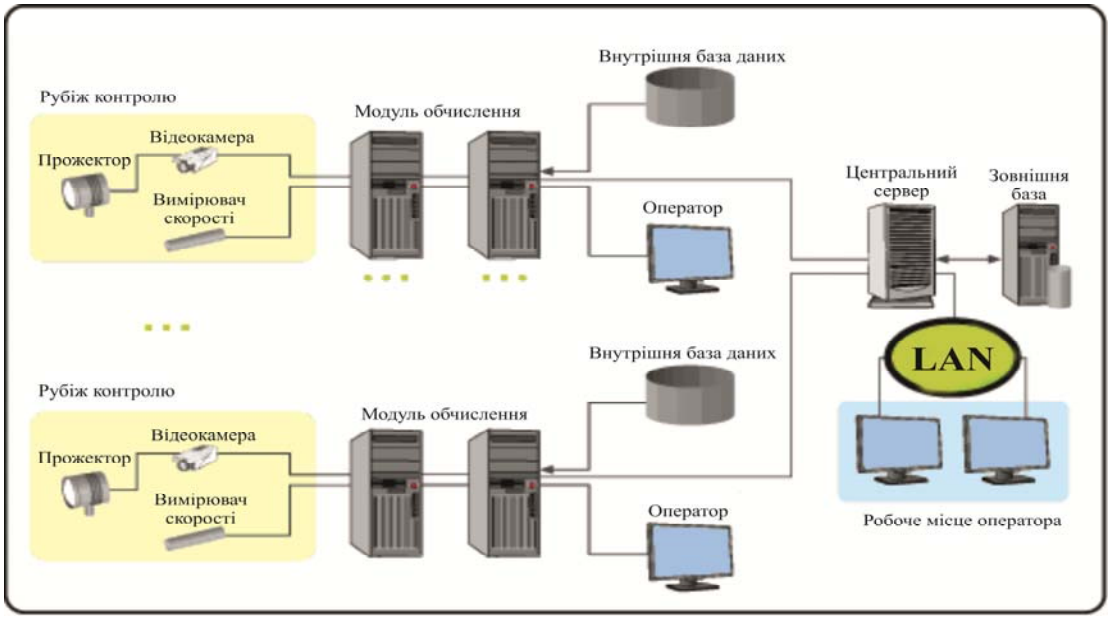


Рисунок 1.12- Програмно-апаратне забезпечення системи КАСКАД

Ця функціональна схема експлуатується, як правило, на стаціонарних контрольно-пропускних пунктах патрульної поліції (ДПС), а також інтегрується у мобільні апаратно-програмні комплекси швидкого розгортання. В режимі безперервного моніторингу в реальному часі (real-time), система здійснює фіксацію проїзду та автоматичну верифікацію номерного знака ТЗ. У разі виявлення збігу (за критерієм часткового або точного відповідності ідентифікатору ТЗ з даними розшукової бази), негайно генерується аварійне сповіщення: видається контекстуалізоване візуальне повідомлення на операторському моніторі та дублюється звуковим сигналом тривоги. З технічних аспектів, відеокамера системи типу «КАСКАД» монтується стаціонарно на висоті в діапазоні від 4,5 до 11 метрів, забезпечуючи оптичний огляд визначеної ділянки автошляху – зони

моніторингу. Спеціалізоване програмне забезпечення (СПЗ), інстальоване на обчислювальному вузлі (комп'ютері), здійснює високошвидкісну обробку відеопотоку з часовою дискретністю 40 мілісекунд між кадрами. Це дозволяє детектовати та ідентифікувати транспортні одиниці з державними номерними знаками, які перетинають контрольований периметр, та прецизійно визначати їхню поточну швидкість (рисунок 1.13).

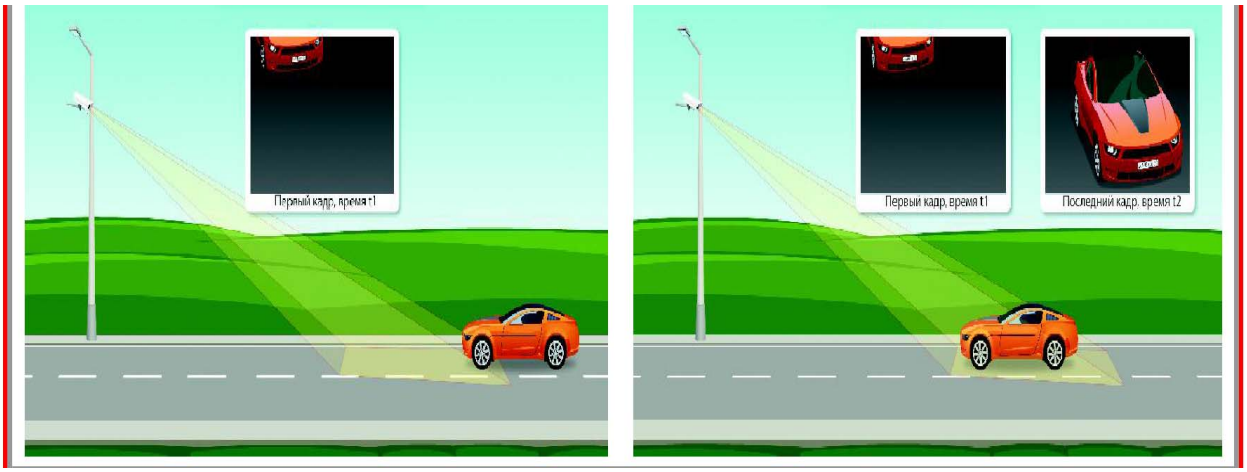


Рисунок 1.12- Алгоритм фіксації швидкості автомобіля системи КАСКАД

Програмне забезпечення (ПЗ) системи, використовуючи кількість зафіксованих кадрів, отриманих між початковою та кінцевою точками контрольованої ділянки, детермінує загальний інтервал часу (Time Interval) руху транспортного засобу (ТЗ) у зоні моніторингу. Цей розрахунок ґрунтується на стандартному міжкадровому інтервалі відеопотоку PAL, що становить 40,0 мілісекунд (ms). Для мінімізації похибки у вимірюванні пройденої відстані, спричиненої динамічними коливаннями опорної конструкції (вібрацією від проїзду транспорту або аеродинамічними навантаженнями), ПЗ комплексу інтегрує спеціалізований алгоритм програмної стабілізації зображення. Цей механізм ефективно компенсує неточності, які імпортуються деформацією опорної рами телевізійного датчика (ТВ-датчика). Після успішної програмної стабілізації, відбувається первинне обчислення пройденого шляху ТЗ. Для цього ідентифікуються та

фіксуються координати референтної точки (зазвичай, центр пластини Державного Реєстраційного Номера – ДРН) у системі координат відеокадра на першому та останньому зафіксованих кадрах. Ці кадри віртуально накладаються, формуючи вектор зміщення (Displacement Vector) пластини ДРН у площині кадра, що дозволяє визначити пройдений шлях у пікселях (Pixels) (рисунок 1.14).

Рисунок 1.13- Алгоритм відтворення вектора для обчислення швидкості

Наступним критичним етапом є трансформація виміряного вектора з пікселів у фізичні міліметри зони контролю на дорожньому полотні. Ця перекалібрація здійснюється з використанням градуювальних параметрів. Ключова особливість системи: при перерахунку абсолютних координат враховується, що проекції різних пікселів на площину дорожнього покриття мають неоднакову "ціну поділки" (розмір у мм) як по осі Y (поздовжній рух), так і по осі X (поперечний рух). Така просторова корекція (Spatial Correction) забезпечує високу точність вимірювання шляху навіть при неортогональному розміщенні відеокамери, дозволяючи зміщення відносно осі руху до 30°. Отриманий шлях був би абсолютно точним, якби референтна точка знаходилася безпосередньо у площині дороги. Проте, пластина ДРН фізично закріплена на ТЗ на певній висоті над покриттям. Відповідно, фактичний шлях, пройдений центром пластини, є меншим за довжину його геометричної проекції (Geometric Projection) на площину дороги. Ця проекційна похибка обов'язково калібрується і компенсується СПЗ. Точність визначення

фізичних розмірів ДРН за зображенням деградує під впливом численних деформуючих факторів, включаючи: Нерівномірність монтажу (Misalignment); Кутовий нахил (Angular Tilt) пластини; Нестандартне місце кріплення; Фізична вигнутість/увігнутість (Curvature) пластини; Непряме спостереження зони під значним кутом.

На ринку спостерігається тенденція до значної комерціалізації, що виражається у приховуванні більшістю компаній цінового діапазону (який, в цілому, перевищує 3000 USD залежно від комплектації), відсотка коректного розпізнавання та детальних алгоритмів функціонування. Такий стан стримує можливості удосконалення існуючих методик. З огляду на це, розробка власних, гнучких алгоритмів та автоматизованих програмних комплексів для фіксації порушень Правил дорожнього руху (ПДР) є критично важливою. Кінцева мета полягає у зниженні аварійності через автоматичне виписування штрафів, що досягається шляхом надійної ідентифікації власника ТЗ за номерним знаком.

1.3 Аналіз методів ідентифікації номерного знаку транспортного засобу

Попри зовнішню елементарність, проблематика ідентифікації реєстраційних табличок автомобілів охоплює розв'язання комплексу складних завдань, що підтверджується широким спектром технік, концепцій та обчислювальних процедур. Початковим етапом функціонування автоматизованої системи виявлення транспортних номерів виступає локалізація реєстраційної пластини у візуальному полі. Цей крок характеризується критичною важливістю, адже точність виокремлення табличкової зони безпосередньо впливає на ефективність усіх наступних операцій. Для ідентифікації номерних табличок існує значний арсенал технологій, що класифікуються відповідно до характерних параметрів, які використовуються для аналізу візуального матеріалу.

Фундаментом технології локалізації номерної таблички слугує гіпотеза щодо істотної різниці між рівнем яскравості символів та оточуючого тла. Ця особливість уможливлює використання таких характеристик. Зона розташування реєстраційного знака демонструє підвищений рівень контрастності відносно іншої частини кадру. Коливання яскравості в межах табличкової зони відбуваються з більшою інтенсивністю.

Алгоритм виявлення зони номерної пластини на цифровому кадрі реалізується через три послідовні фази. Спочатку відбувається ідентифікація контурів усіх об'єктів із залученням операторів обчислення градієнтів. Потім здійснюється проекційне відображення трансформованих кадрів на горизонтальну та вертикальну площини. На завершальному етапі встановлюються межі табличкової області через аналітичне опрацювання горизонтальних і вертикальних проекцій, сформованих на попередньому етапі.

З метою детектування контурів елементів на візуальному матеріалі можуть використовуватися різноманітні градієнтні фільтри, серед яких найпоширенішими є двомірні оператори Превітта, Собеля та Робертса. На рисунку 1.14 наведено демонстрацію функціонування зазначених операторів.

а) б)

а) первинне зображення; б) результат обробки із використанням диференціальних масок.

Рисунок1.14 - Застосування масок для ідентифікації номерного знака

На подальшій стадії здійснюється розрахунок проекційних відображень візуального матеріалу на горизонтальну та вертикальну площини відповідно до рівнянь:

$$p_y(y) = \sum_{j=0}^{w-1} I(i, y). \tag{1.1}$$

$$p_x(x) = \sum_{j=0}^{h-1} I(x, j). \tag{1.2}$$

Отже, виконавши обчислення проекції кадру на вертикальну вісь після імплементації маски Превітта за формулами (1.1), (1.2), з'ясовується, що у величинах отриманої проекційної функції в кожній точці враховуються виключно вертикальні осі, які перетинають дану точку. Дослідження функції дає змогу встановити верхній та нижній кордони реєстраційної таблички. Здійснюючи подібні операції для формування горизонтальної проекції, визначаються координати правого й лівого меж знака. На рисунку 1.15 представлені зразки розрахунку проекційних відображень.

а) б)

Рисунок 1.15- Відображення зображення реєстраційної таблички на горизонтальну (а) та вертикальну площини (б)

Наступним етапом обробки в автоматизованих системах ідентифікації транспортних номерів зазвичай виступає сегментація індивідуальних символів на попередньо локалізованій номерній пластині. Для реалізації цього завдання найчастіше застосовується формування горизонтальної проекції попередньо бінаризованого візуального матеріалу, що продемонстровано на рисунку 1.16. Такі підходи характеризуються мінімальними обчислювальними витратами. Проте зміна просторового розташування камери відносно автомобіля спричиняє перспективні деформації кадру, чиї вертикальна та горизонтальна осі втрачають паралельність з осями реєстраційного знака. Як наслідок, у ситуаціях кутового відхилення номерної таблички автомобіля проекційні технології генерують істотні неточності.

Завершальним етапом функціонування систем автоматизованого виявлення реєстраційних номерів транспортних засобів виступає ідентифікація сегментованих знаків на номерній табличці [12]. Щоб забезпечити можливість практичного застосування даних автомобільного номера, зокрема для здійснення запитів у інформаційних масивах, необхідно ідентифікувати всі знаки сегментованої частини зображення із залученням технологій штучного інтелекту.

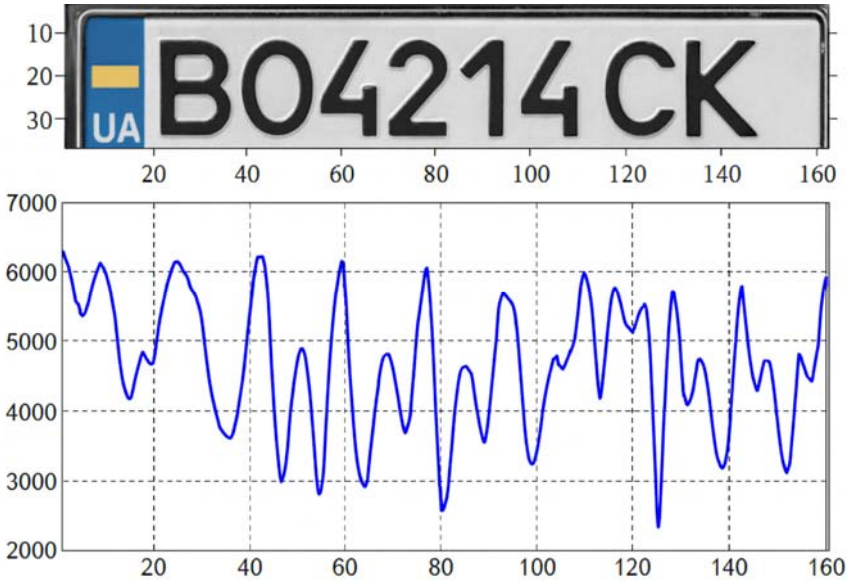


Рисунок 1.16– Сигментація номерної пластини методом проекцій

Для ідентифікації знаків, присутніх на зображенні реєстраційної таблички транспортного засобу, необхідно реалізувати процедуру, яка дозволить виокремити окремі знаки. Існує низка методологічних підходів для визначення меж знаків. Найелементарніший метод полягає у застосуванні фіксованих меж, виходячи з припущення, що кожний знак реєстраційного номера займає визначену позицію. З цією метою потрібно поділити зображення на однакові осередки, які потенційно можуть вміщувати знаки. Перевагою такого методу є елементарність імплементації та незалежність від рівня якості зображення. Вадою виступає те, що осередки можуть захоплювати фонову область замість знаків при зміщеному розташуванні номерної таблички на досліджуваній ділянці зображення.

Альтернативним рішенням є застосування гістограм сумарної кількості пікселів у кожній вертикальній та горизонтальній лінії реєстраційного номера замість фіксованих меж. У такому випадку з'являється можливість відсікти фонову зону (яка не вміщує знаків) від зображення номерної таблички. Відтак піки та западини гістограми вказуватимуть на локалізацію знаків реєстраційного номера. Даний метод залежить від рівня якості зображення номерної таблички, проте він демонструє високу ефективність, оскільки на його функціонування не впливає розташування знаків.

2. ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПРИЗНАЧЕНІ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ ПОРУШНИКІВ ПРАВИЛ ДОРОЖНЬОГО

2.1 Апаратні характеристики та властивості відеокамер для фіксації автомобільного номера порушника правил дорожнього руху

На практиці організація контролю за дотриманням правил дорожнього руху застосовуються різноманітні технічні засоби, які можна класифікувати за принципом розміщення та мобільності. Стаціонарні комплекси автоматичної фіксації розглядались у першому розділі нашої роботи, вони встановлюються на постійній основі вздовж найбільш завантажених автомагістралей та в місцях концентрації порушень.

Альтернативним підходом до організації контролю швидкісного режиму є використання мобільних вимірювальних комплексів, які забезпечують оперативне розгортання на різних ділянках дорожньої мережі відповідно до поточних потреб правоохоронних органів. Найбільшого поширення в українській практиці набув лазерний радар американського виробництва TruCAM, який базується на принципово іншій технології вимірювання швидкості порівняно з традиційними радіолокаційними системами. Цей пристрій демонструє можливість визначення швидкості транспортних засобів у широкому діапазоні від нульової до трьохсот двадцяти кілометрів на годину з максимальною інструментальною похибкою, що не перевищує двох кілометрів на годину.

Рисунок 2.1- Мобільна система фіксації порушень дорожнього руху TruCAM

Технічні можливості лазерного радара TruCAM «характеризуються надзвичайно швидким часом реагування на рівні третини секунди, що дозволяє здійснювати вимірювання навіть при русі транспортного засобу з високою швидкістю. Система забезпечує точне визначення відстані до об'єкта спостереження в межах від п'ятнадцяти до дванадцяти сотень метрів із допустимим відхиленням до сімнадцяти метрів, що є цілком прийнятним для практичних завдань фіксації порушень». Відеореєстраційна підсистема пристрою формує «зображення з роздільною здатністю чотириста вісімдесят на триста шістдесят пікселів і здатна створювати три фотографічні знімки протягом однієї секунди. Вбудована пам'ять радара розрахована на збереження до сорока тисяч фотографічних зображень або шістнадцяти тисяч відеофрагментів, що забезпечує можливість тривалої автономної роботи без необхідності вивантаження даних»[13].

Експлуатаційні характеристики TruCAM включають широкий температурний діапазон функціонування від мінус десяти до плюс шістдесяти градусів Цельсія, що робить його придатним для використання в різних кліматичних умовах. Час безперервної роботи від акумуляторної батареї може досягати п'ятнадцяти годин, що цілком достатньо для робочої зміни патрульного екіпажу. Принципова перевага лазерної технології полягає у виключно високій просторовій вибірковості вимірювання, оскільки вузький лазерний промінь практично виключає можливість помилкового захоплення транспортних засобів, що рухаються по сусідніх смугах руху. Водночас система має певні технологічні обмеження, оскільки якісна фіксація державних реєстраційних номерів можлива лише на відстанях, що не перевищують сто метрів від точки спостереження.

Істотним недоліком лазерних вимірювальних систем є їхня підвищена чутливість до атмосферних явищ, які спричиняють розсіювання оптичного випромінювання. Туманна імла, дощові опади та інші метеорологічні фактори суттєво погіршують характеристики точності та дальності вимірювань, що обмежує можливості практичного застосування пристрою в

несприятливих погодних умовах і потенційно може призвести до спотворення результатів реєстрації швидкості руху.

Серед провідних виробників спеціалізованого обладнання для систем ANPR особливої уваги заслуговують технічні рішення компаній Hikvision та Dahua, які пропонують лінійки камер з різними характеристиками для застосування в різних сценаріях дорожнього контролю. Камера Hikvision моделі iDS-2CD7A26G0/P-IZHS побудована на базі двомегапіксельної матриці розміром одна восьма дюйма типу CMOS, що забезпечує формування зображення з роздільною здатністю тисяча дев'ятсот двадцять на тисячу вісімдесят пікселів. Пристрій оснащений варіофокальним об'єктивом з діапазоном фокусних відстаней від восьми до тридцяти двох міліметрів, що дозволяє регулювати кут огляду в межах від сорока одного до ста чотирнадцяти градусів залежно від конкретних умов монтажу.

Рисунок 2.2- Hikvision iDS-2CD7A26G0/P-IZHS

Відеореєстраційна підсистема цієї камери здатна формувати відеопотік з частотою п'ятдесят кадрів за секунду при максимальній роздільності Full HD, що забезпечує високу плавність зображення та можливість фіксації швидкоплинних подій. Для роботи в умовах складної освітленості камера підтримує технологію широкого динамічного діапазону зі значенням сто сорок децибел, а також функції тривимірного цифрового шумоподавлення, компенсації туману та корекції задньої підсвітки. Інфрачервоне підсвічування забезпечує ефективну роботу на відстанях до ста метрів у повній темряві. Конструктивне виконання корпусу відповідає стандартам захисту IP67 та IK10, що гарантує стійкість до несприятливих погодних умов

та механічних впливів. Живлення камери може здійснюватися як від джерела постійного струму напругою дванадцять вольт, так і через технологію передачі живлення по мережевому кабелю стандарту PoE.

Альтернативні рішення від компанії Dahua представлені моделями з різними оптичними характеристиками для специфічних сценаріїв застосування. Камера DHI-ITC413-PW4D-IZ1 (рисунок 2.3) з чотиримегапіксельною матрицею та об'єктивом діапазону від двох цілих сім десятих до дванадцяти міліметрів розроблена спеціально для контролю шлагбаумів та інших локацій, де транспортні засоби з'являються раптово з бокових напрямків на швидкостях до ста кілометрів на годину. Швидкість обробки та розпізнавання номерного знака цією системою становить приблизно одну секунду, що дозволяє ефективно працювати навіть з рухомими об'єктами. Програмне забезпечення камери підтримує багатомовне розпізнавання символів, включаючи англійську, арабську, китайську, кирилицю та тайську мови, що робить систему придатною для використання в різних географічних регіонах.

Рисунок 2.3- DHI-ITC413-PW4D-IZ1

Модель DHI-ITC413-PW4D-IZ1 [14] того ж виробника оснащена об'єктивом з фокусною відстанню від восьми до тридцяти двох міліметрів, що оптимізує її для розпізнавання номерних знаків транспортних засобів, що рухаються зі швидкістю до ста двадцяти кілометрів на годину. Така конфігурація ідеально підходить для встановлення на високих опорах або фасадах будівель вздовж швидкісних магістралей. Додатковою перевагою

цієї системи є розширений функціонал ідентифікації, що включає визначення кольору кузова, типу автомобіля та навіть виробника транспортного засобу. Наявність вебінтерфейсу спрощує процедуру налаштування зон детекції та визначення напрямків руху, що підлягають контролю.

Ефективна робота систем автоматичного розпізнавання номерних знаків критично залежить від дотримання низки технічних вимог щодо параметрів зображення та умов монтажу обладнання. Для забезпечення надійного розпізнавання необхідно, щоб ширина номерного знака в кадрі становила не менше ста п'ятдесяти пікселів, а кут нахилу камери відносно площини номера не перевищував п'яти градусів. Швидкість електронного затвора повинна встановлюватися на рівні близько однієї тисячної секунди для мінімізації розмиття зображення від засвічення фарами зустрічного транспорту в нічний час. Для оптимізації роботи алгоритмів розпізнавання рекомендується відключати функції автоматичного регулювання широкого динамічного діапазону, компенсації задньої підсвітки та корекції високої освітленості, а також знижувати інтенсивність цифрового шумоподавлення до рівня десяти-двадцяти відсотків, що дозволяє зменшити кількість помилкових спрацювань системи.

При проектуванні місць встановлення камер необхідно враховувати потенційні механічні коливання несучих конструкцій, особливо при монтажі на опорах освітлення або дорожніх знаків, оскільки вібрації від проїзду важковагового транспорту можуть негативно впливати на стабільність зображення та, відповідно, на ефективність розпізнавання номерних знаків. Належне дотримання цих технічних вимог є критичним фактором для досягнення задекларованих показників точності роботи систем ANPR.

Компаративний аналіз технічних характеристик стаціонарних систем автоматичного розпізнавання номерів та мобільних лазерних радарів виявляє низку принципових відмінностей у їхніх функціональних можливостях та сферах оптимального застосування. Системи ANPR демонструють винятково високу точність автоматичного розпізнавання номерних знаків на рівні

дев'яноста п'яти-дев'яноста восьми відсотків без необхідності участі оператора, що забезпечує повну автоматизацію процесу фіксації порушень. Ці системи здатні ефективно працювати зі швидкорухомими об'єктами на швидкостях до ста двадцяти кілометрів на годину та пропонують додаткові можливості ідентифікації візуальних характеристик транспортних засобів, таких як колір, тип кузова та виробник. Наявність інфрачервоного підсвічування забезпечує безперебійну цілодобову роботу незалежно від умов природного освітлення.

З іншого боку, мобільні радари типу TruCAM пропонують унікальні переваги у вигляді високої мобільності та можливості оперативного розгортання на будь-яких ділянках дорожньої мережі відповідно до поточних завдань патрульної служби. Точність вимірювання швидкості на рівні плюс-мінус два кілометри на годину є цілком достатньою для юридично обґрунтованого притягнення до адміністративної відповідальності. Висока просторова вибірковість лазерної технології практично виключає можливість помилкової ідентифікації порушника серед потоку транспорту. Додатковою перевагою є вбудований GPS-трекер, який автоматично фіксує географічні координати місця виявлення порушення, що важливо для формування доказової бази.

Водночас кожна з технологій має певні експлуатаційні обмеження, які необхідно враховувати при плануванні їх застосування. Для лазерних радарів TruCAM критичним обмеженням є можливість якісної фіксації номерного знака лише на відстанях до ста метрів, а також підвищена чутливість до несприятливих метеорологічних умов, таких як туман та опади, які суттєво погіршують характеристики вимірювань. Системи ANPR, у свою чергу, потребують ретельного позиціонування з дотриманням жорстких вимог щодо кута нахилу камери та мінімального розміру номерного знака в кадрі, що обмежує гнучкість їх застосування та вимагає професійного проектування місць встановлення.

При виборі оптимального технічного рішення для конкретних завдань контролю дорожнього руху необхідно враховувати максимальну інструментальну похибку засобів вимірювання, яка згідно з діючими нормативними вимогами становить плюс-мінус два кілометри на годину. Цей параметр є критичним для забезпечення правової обґрунтованості процедури притягнення порушників до адміністративної відповідальності та має враховуватися при визначенні порогових значень перевищення швидкості, що підлягають фіксації.

Для організації стаціонарних пунктів автоматизованого контролю на швидкісних магістралях найбільш раціональним рішенням представляються камери ANPR виробництва Dahua серії ITC413-PW4D-IZ1 (рисунок 2.3) з телеоб'єктивом діапазону вісім-тридцять два міліметри. Ці системи забезпечують надійне розпізнавання номерних знаків транспортних засобів, що рухаються зі швидкістю до ста двадцяти кілометрів на годину, при одночасному виконанні додаткових функцій ідентифікації візуальних характеристик автомобілів, що значно розширює можливості аналізу дорожньої обстановки та пошуку транспортних засобів у базах даних правоохоронних органів.

Для завдань мобільного патрулювання та організації точкового контролю швидкісного режиму на локальних ділянках дорожньої мережі доцільним залишається застосування лазерних радарів TruCAM завдяки їхній високій оперативності розгортання, точності вимірювання швидкості та можливості селективної фіксації конкретного порушника в потоці транспорту. Однак при плануванні використання цих пристроїв необхідно обов'язково враховувати їхні технологічні обмеження щодо максимальної відстані якісної фіксації номерних знаків та зниження ефективності роботи в несприятливих метеорологічних умовах.

Інтегрований підхід до організації контролю дорожнього руху, що передбачає одночасне використання стаціонарних комплексів автоматичної фіксації на базі технології ANPR та мобільних лазерних радарів, дозволяє

забезпечити комплексний моніторинг дотримання правил дорожнього руху на постійній основі через стаціонарні системи та гнучке реагування на поточну ситуацію через мобільні підрозділи патрульної поліції. Така комбінована стратегія повністю відповідає сучасним міжнародним практикам організації систем забезпечення безпеки дорожнього руху та створює необхідні передумови для ефективного превентивного впливу на поведінку учасників дорожнього руху з метою зниження кількості дорожньо-транспортних пригод та їхніх соціально-економічних наслідків.

У рамках кваліфікаційної роботи спираючись на технічні характеристики досліджуваних камер, що використовуються для фіксації порушень правил на рисунку 2.5 представлено критерії ефективності досліджуваних технічних засобів. У дослідженні виконано порівняльний аналіз ефективності трьох систем автоматичного розпізнавання номерних знаків: Dahua, Hikvision та TruCAM.

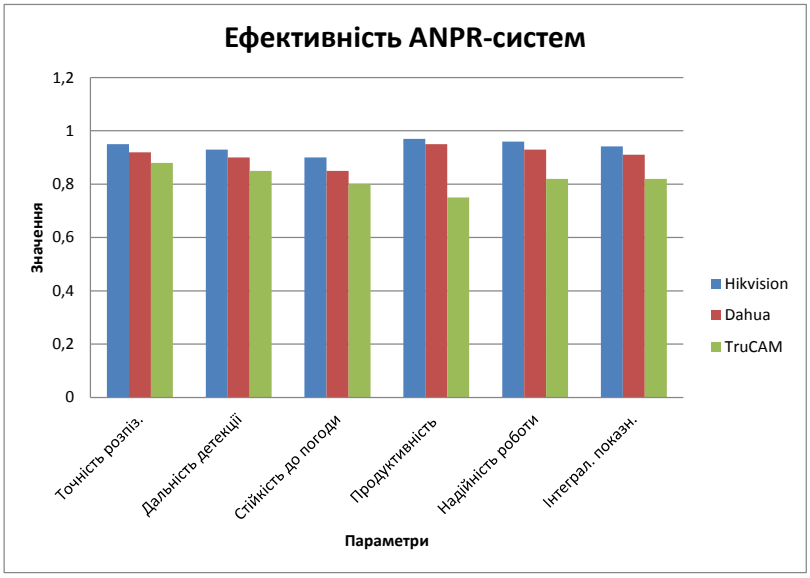


Рисунок 2.5-Параметри ефективності відеокамер ANRP систем

Оцінювання здійснювалося на основі нормованих техніко-експлуатаційних показників, що дає змогу сформувати узагальнене уявлення про придатність кожної системи до використання в умовах сучасної транспортної інфраструктури. До переліку досліджуваних параметрів було

включено точність розпізнавання номерних знаків, дальність детекції транспортних засобів, стійкість до несприятливих погодних умов, продуктивність у режимі реального часу та загальну надійність і стабільність функціонування. Кожен із цих показників має ключове значення для побудови ефективних систем контролю дорожнього руху, оцінювання транспортних потоків та забезпечення безпеки на дорогах.

За результатами аналізу встановлено, що найвищі значення більшості досліджуваних параметрів демонструє система Hikvision, яка характеризується підвищеною точністю розпізнавання, високою продуктивністю та стійкістю до впливу погодних факторів. Система Dahua посідає проміжне положення, забезпечуючи стабільні результати за всіма критеріями, хоча дещо поступається Hikvision за рівнем точності та надійності. Мобільний комплекс TruCAM, у свою чергу, демонструє нижчі показники у порівнянні зі стаціонарними системами, що пов’язано з його конструкційними обмеженнями та специфікою застосування, орієнтованого насамперед на контроль швидкісного режиму.

Таким чином, узагальнені результати дослідження свідчать про те, що стаціонарні системи Dahua та Hikvision забезпечують вищий інтегральний рівень ефективності та придатні для реалізації комплексних систем відеоконтролю дорожнього руху, тоді як TruCAM може розглядатися переважно як спеціалізований інструмент мобільного контролю, що не забезпечує повного спектра можливостей, притаманних стаціонарним ANPR-рішенням.

2.2 Дослідження апаратних засобів збереження опрацювання та передачі відеоданих у системі спостереження

Сучасні системи відео фіксації порушен правил дорожнього руху являють собою складні багатокомпонентні технологічні комплекси, ефективність функціонування яких критично залежить від правильного

вибору апаратних рішень для збереження, обробки та передачі відеоінформації. Архітектура таких систем передбачає інтеграцію різноманітних технічних засобів, кожен з яких виконує специфічні функції в ланцюгу від моменту фіксації зображення до його довгострокового архівування та відтворення. Дослідження технічних характеристик цих компонентів та визначення оптимальних конфігурацій обладнання становить важливе завдання при проектуванні систем автоматизованої фіксації порушень правил дорожнього руху, оскільки від надійності зберігання та швидкості обробки відеоматеріалів безпосередньо залежить можливість використання зафіксованих даних як доказової бази в адміністративних провадженнях.

Сучасні мережеві відеосервери формують інтегровану апаратно-програмну платформу, призначену для швидкого розгортання та конфігурації систем автоматизованого контролю транспортних потоків. У структурі комплексів ANPR одним із ключових компонентів виступає вуличний мережевий сервер, що розміщується у спеціалізованому антивандальному комутаційному модулі. Такий модуль виконує функції ввідно-розподільчого пристрою, забезпечуючи підключення периферійного обладнання, комутацію сигналів та первинний захист ліній живлення і зв'язку на межі контролю системи фіксації порушень правил дорожнього руху.

Вбудований вуличний сервер відповідає за локальну обробку інформації, включаючи аналіз відеопотоку, розпізнавання номерних знаків, фіксацію подій, формування доказових даних та передачу відеоматеріалів до центральної системи зберігання. Завдяки локальній обробці знижується навантаження на мережеву інфраструктуру, а час реакції системи істотно скорочується, що підвищує ефективність роботи комплексу в режимі реального часу.

Комутаційний модуль (рисунок 2.6), у складі якого розташований сервер ANPR, також виконує функції стабільного електроживлення, захисту від перенапруг та зовнішніх впливів, а також забезпечує структуроване

підключення всіх датчиків, сенсорів, індикаторів і мережевих пристроїв, що використовуються на контрольній точці. Окрім цього, система підтримує можливість дистанційного моніторингу стану обладнання та програмного забезпечення, що дає змогу автоматизовано виявляти збої або порушення роботи та оперативно реагувати на них.

Таким чином, мережевий вуличний відеосервер у складі загальної системи ANPR відіграє роль центрального елемента периферійного рівня, який поєднує функції обробки даних, комутації, захисту та контролю працездатності всієї апаратної частини комплексу на рубежі фіксації порушень правил дорожнього руху [16].

Рисунок 2.9- Вуличний комутаційний шкаф стаціонарної системи ANRP

Апаратний модуль, що входить до складу системи ANPR, оснащується засобами автоматичного контролю працездатності підключеного обладнання. У разі виявлення збоїв або некоректної роботи він здатний самостійно виконувати перезапуск окремих компонентів, забезпечуючи безперервність функціонування комплексу на контрольній точці. За необхідності такі процедури можуть виконуватися і в ручному режимі через систему віддаленого адміністрування, що значно спрощує технічне обслуговування та скорочує час реагування на несправності.

Важливим елементом інтегрованого комплексу фіксації порушень ПДР є лідар, що використовує передові технології, На рисунку 2.7 представлено лінійку приладів PoliScan німецької компанії VITRONIC.

Стаціонарні комплекси серії PoliScan FM1 [17] являють собою апаратно-програмні модулі, виконані у вигляді антивандальної колони або компактного блоку на опорі. На відміну від класичних радарних систем, де використовується радіохвильовий принцип вимірювання, PoliScan застосовує високочастотний скануючий лідар як єдине джерело даних для визначення швидкості, положення та типу транспортних засобів. Камерний модуль з інфрачервоною підсвіткою виконує допоміжну функцію — забезпечує фіксацію події та розпізнавання номерного знака (ANPR).

Рисунок 2.8- PoliScan FM1

Основою системи виступає лідарний вимірювальний блок, який формує динамічну тривимірну картину дорожньої обстановки. Імпульсний ІЧ-лазер (клас безпеки 1) спрямовується на обертове багатогранне дзеркало, що створює швидку горизонтальну розгортку в секторі приблизно 45–60°. Завдяки високій частоті повторення сканів формується щільна зона детекції, яка охоплює до шести смуг руху. Під час проходження автомобіля через цю зону система отримує тисячі зворотних відбиттів від елементів кузова, на основі яких формується 3D-траєкторія руху. Це дозволяє визначати об’єкти, будувати їхній вектор руху та розраховувати середню швидкість на контрольованій ділянці, що забезпечує більш високу точність порівняно з одноточковими вимірюваннями.

Лідар також виконує роль точного тригера для фотопідсистеми ANPR. Він безперервно відстежує координати транспортного засобу та подає команду на знімання в момент його проходження через оптимальну точку фіксації. Одночасно система встановлює віртуальний «bounding box» навколо потрібного автомобіля, що дозволяє уникнути помилкового прив'язування номера іншого транспортного засобу, навіть коли у кадрі присутні кілька авто.

Архітектура захисту даних у типовій системі фіксації включає послідовність взаємопов'язаних етапів. Спершу сенсорні пристрої формують вихідні дані, після чого вони негайно передаються до процесора, де інтегрований криптомодуль виконує їхнє шифрування та створює криптографічно стійкий хеш. Далі формується електронний цифровий підпис, що містить зашифрований масив інформації разом із метаданими, такими як координати, час та параметри порушення. Захищений контейнер зберігається локально або передається до центрального сховища, де в подальшому виконується криптографічна перевірка на основі відкритого ключа. Успішна верифікація підтверджує цілісність даних та їх походження від авторизованого комплексу, що працював у довіреному стані.

Інтеграція апаратних криптографічних модулів у системи автоматизованої фото- та відеофіксації правопорушень створює надійну технологічну інфраструктуру, яка запобігає будь-яким формам несанкціонованого втручання в інформацію. Такий підхід забезпечує незаперечність доказів, підвищує рівень довіри до результатів роботи автоматизованих комплексів і гарантує легітимність застосованих адміністративних заходів, що робить апаратні криптографічні модулі ключовим елементом сучасних ANPR-систем.

Модуль «КАСКАД VERelay [19] створений для самостійного дистанційного керування енергопостачанням різноманітного обладнання, розміщеного в комутаційній шафі, а також для моніторингу температурного режиму». Пристрій КАСКАД VERelay (рисунок 2.10) забезпечує можливість

регулювання роботи різних компонентів, інтегрованих через послідовні інтерфейси. [27]

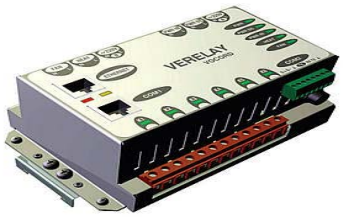


Рисунок 2.10- КАСКАД VERelay

Система КАСКАД VERelay остаточного контролю подачі та відключення живлення зовнішніх пристроїв через локальну мережу Ethernet, застосовуючи стек протоколів TCP/IP. Додатково модуль активує або деактивує системи термостабілізації відповідно до даних від температурних датчиків. Конфігурація пристрою виконується через локальну мережу за допомогою веб-інтерфейсу.

Модуль КАСКАД VERelay, підконтрольне обладнання, зовнішній керуючий блок та автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора можуть функціонувати в мережах з різноманітною топологією. КАСКАД VERelay спроектовано як інтегральний компонент комутаційної інфраструктури комплексу автоматичної фіксації порушення правил дорожнього руху КАСКАД

Гібридні відеосервери (рисунок 2.9) «являють собою універсальні технічні рішення, що поєднують функціональність обох попередніх категорій і здатні одночасно обробляти сигнали як від аналогових камер традиційних стандартів та високої чіткості, так і від цифрових камер з мережевим інтерфейсом». Такі пристрої особливо доцільні при модернізації існуючих систем відеоспостереження, коли є необхідність поступового переходу від застарілого аналогового обладнання до сучасних цифрових рішень без повної заміни всієї інфраструктури. Гібридна архітектура дозволяє оптимально використовувати наявні інвестиції в обладнання та планомірно нарощувати можливості системи шляхом додавання нових камер більш досконалих стандартів [20].

Функціональна спроможність відеореєстраторів «характеризується рівнем багатозадачності, який визначає кількість одночасно виконуваних операцій. Найпростіші пристрої симплексного типу здатні виконувати лише одну функцію в конкретний момент часу, наприклад, здійснювати запис або відтворення архіву, але не можуть робити це параллельно». Дуплексні «відеореєстратори забезпечують можливість одночасного виконання двох операцій, зокрема безперервного запису відеопотоку на накопичувач паралельно з переглядом архівних записів, що значно підвищує зручність експлуатації системи». Триплексні моделі додатково підтримують функцію трансляції живого відеозображення на монітор одночасно із записом та відтворенням архіву, що робить їх найбільш функціональними для професійного застосування в системах безпеки з цілодобовим моніторингом.

Рисунок 2.11 Гібридний відеосервер

Інформація з локального обладнання на вулиці передається через комунікаційні мережі до віддаленої системи зберігання, яка побудована на базі кількох спеціалізованих серверних пристроїв для роботи з відеопотоками. На рисунку 2.12 показано серверне рішення для потокового відео GV-Hot Swap Recording Server System [21], що характеризує значний ресурс для накопичення інформації та орієнтування на масштабні об’єкти системи відеоконтролю. Конфігурація з двадцятьма накопичувачами, які підтримують заміну без виділення системи, дозволяє накопичувати понад 40 терабайт інформації залежно від ємності встановлених дисків.

Рисунок 2.12- Відеосервер GV-Hot Swap

Ця платформа здатна приймати та фіксувати інформацію з 64 незалежних джерел через мережеві відеопристрої. Водночас система забезпечує розподіл до 300 потоків для підключених робочих станцій, серед яких GV-System (платформа цифрового/мережевого відеозапису), GV-Control Center (централізована система спостереження) та Multi View (клієнтське програмне забезпечення для перегляду).

Застосування серверів запису GV дозволяє досягти оптимальної швидкості оновлення кадрів при контрольованому завантаженні на обчислювальні ресурси, одночасно зменшуючи мережевий трафік від IP-камери. Фіксація відеоматеріалів на зовнішніх накопичувачах через мережеві відеосервери може статися за розкладом або при виникненні певних подій.

2.3 Структура програмної системи розпізнавання номерного знаку автомобіля

Програмна система «розпізнавання номерних знаків автомобілів являє собою комплексне рішення, що поєднує методи комп'ютерного зору, машинного навчання та обробки зображень. Архітектура системи побудована за модульним принципом, що забезпечує гнучкість, масштабованість та можливість незалежного розвитку окремих компонентів. Загальна структура системи включає п'ять основних функціональних модулів, які послідовно обробляють вхідні дані та забезпечують кінцевий результат розпізнавання. Кожен модуль виконує специфічну задачу та передає результати своєї роботи наступному компоненту в ланцюгу обробки». Основні модулі системи включають модуль захоплення зображень, модуль попередньої обробки, модуль детекції номерних знаків, модуль сегментації символів та модуль розпізнавання символів (рисунок 2.15). Додатково система містить модуль збереження та управління даними, який забезпечує роботу з базою даних розпізнаних номерів [20].

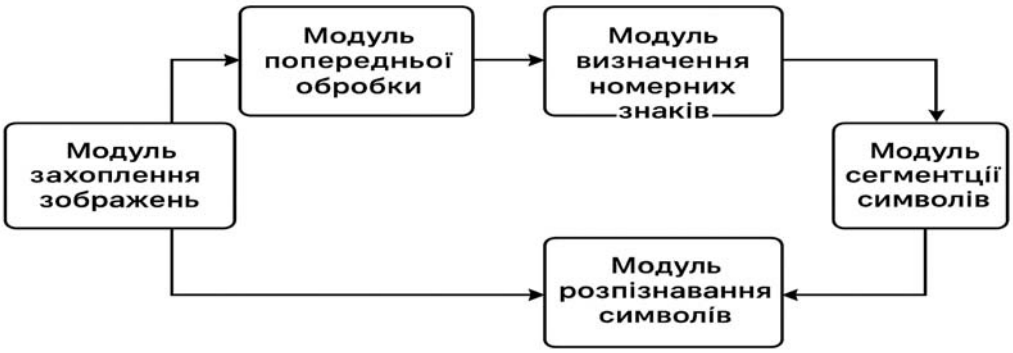


Рисунок 2.14- Схема роботи «системи розпізнавання номерних знаків автомобілів»

Модуль захоплення зображень є першим компонентом системи та відповідає за отримання вхідних даних для подальшої обробки. Цей модуль забезпечує інтерфейс взаємодії з різними джерелами зображень, включаючи камери реального часу, відеофайли та статичні зображення. Основні функції модуля включають підключення до камер через стандартні протоколи, налаштування параметрів зйомки, синхронізацію кадрів та буферизацію даних. Для забезпечення якості вхідних даних модуль виконує первинну валідацію зображень, перевіряючи їх роздільну здатність, формат та цілісність. У випадку роботи з відеопотоком модуль здійснює декодування відео та екстракцію окремих кадрів з оптимальною частотою для подальшої обробки.

Модуль попередньої обробки виконує критично важливу функцію підготовки зображень до процесу детекції та розпізнавання. Якість роботи цього модуля безпосередньо впливає на точність усієї системи, оскільки він усуває шуми, покращує контрастність та нормалізує вхідні дані. Основні операції модуля включають перетворення кольорових зображень у градації сірого для зменшення обчислювальної складності, застосування фільтрів для зменшення шуму, корекцію освітлення та нормалізацію розмірів зображень (рисунок 2.16). Для усунення шумів використовуються гаусівські фільтри або медіанні фільтри, які зберігають чіткість країв об'єктів. Модуль також виконує адаптивну бінаризацію зображень, яка перетворює градації сірого у

чорно-білий формат, що спрощує виділення контурів та текстових елементів. Для компенсації нерівномірного освітлення застосовуються методи гістограмної еквалізації або адаптивної еквалізації контрасту. У випадках, коли зображення отримані під кутом або з перспективними спотвореннями, модуль може виконувати геометричні перетворення для вирівнювання та корекції перспективи. Це особливо важливо для камер, встановлених під кутом до площини номерного знака.

```
% Передобробка зображення
I = imread('car2.jpg');
Igray = rgb2gray(Igray;
Igray = imgaussfilt(Igay);
Ieq = adapthisteq(Igray);
BW = imbinarize(Ieq);
```

```
% Передобробка зображення
I = imread('car2.jpg');
Igray = rgb2gray(Igray;
Igray = imgaussfilt(Igay);
Ieq = adapthisteq(Igray);
BW = imbinarize(Ieq);
```

Рисунок 2.16- Визначення номерної пластини автомобіля

Модуль детекції номерних знаків відповідає за локалізацію області номерного знака на обробленому зображенні. Цей етап є одним з найбільш складних, оскільки номерний знак може розташовуватися в різних частинах зображення, мати різний розмір та бути частково затіненим або забрудненим. Для детекції номерних знаків сучасні системи використовують різні підходи. Традиційні методи базуються на аналізі контурів, виявленні прямокутних областей та аналізі текстур. Ці методи використовують детектори країв, морфологічні операції та евристичні правила для ідентифікації можливих областей номерних знаків. Більш сучасні підходи використовують глибоке

навчання та згорткові нейронні мережі. Популярними «архітектурами є YOLO, SSD, Faster R-CNN та їх модифікації, які здатні швидко та точно локалізувати номерні знаки навіть у складних умовах. Ці моделі попередньо навчаються на великих наборах даних зображень автомобілів з анотованими номерними знаками». Після виявлення потенційних областей модуль виконує їх класифікацію та фільтрацію, відкидаючи хибні спрацювання. Для кожної «виявленої області визначаються координати обмежувальної рамки, яка потім використовується для вирізання фрагмента зображення з номерним знаком. Модуль також може виконувати множинну детекцію для випадків, коли на зображенні присутні кілька автомобілів, забезпечуючи обробку кожного номерного знака окремо» [21].

Після успішної детекції номерного знака модуль сегментації символів виділяє окремі символи для індивідуального розпізнавання. Цей етап критично важливий для точності розпізнавання, оскільки неправильна сегментація призводить до помилок у визначенні символів. Процес сегментації починається з додаткової попередньої обробки виділеної області номерного знака. Застосовується бінаризація з адаптивними порогами, морфологічні операції для з'єднання розірваних компонентів символів та усунення дрібних артефактів. Основний метод сегментації базується на аналізі зв'язних компонентів, де кожен символ розглядається як окремий зв'язний об'єкт білого кольору на чорному фоні або навпаки. Алгоритм виконує сканування зображення та групує сусідні пікселі схожої інтенсивності у компоненти. Для підвищення точності сегментації використовуються евристичні правила, які враховують типові характеристики символів: висоту, ширину, співвідношення сторін та відстань між символами. Компоненти, які не відповідають цим критеріям, відфільтровуються як шум. У випадках, коли символи зливаються або накладаються один на одного, застосовуються спеціальні алгоритми розділення, які аналізують вертикальні профілі інтенсивності та шукають локальні мінімуми для визначення меж між символами. Результатом роботи

модуля є впорядкований набір окремих зображень символів, нормалізованих за розміром та готових для розпізнавання.

Рисунок 2.17- Структурна схема виявлення символів номерного знака автомобіля

Модуль розпізнавання символів виконує фінальну задачу перетворення зображень окремих символів у їх текстові представлення. Цей модуль використовує методи оптичного розпізнавання символів, адаптовані для специфіки автомобільних номерних знаків.

Сучасні системи використовують згорткові нейронні мережі (рисунок 2.18), які автоматично витягують релевантні ознаки з зображень символів. Популярні архітектури включають LeNet, AlexNet, VGG та їх модифікації, спеціально адаптовані для розпізнавання символів на номерних знаках. Для навчання моделей розпізнавання використовуються великі набори даних

анотованих зображень символів з різних номерних знаків. Важливим аспектом є забезпечення різноманітності навчальних даних, включаючи різні шрифти, умови освітлення, кути зйомки та рівні зносу номерних знаків. Модуль також включає механізми постобробки результатів розпізнавання, які використовують контекстну інформацію та правила форматування номерних знаків для корекції помилок. Наприклад, якщо відомо, що номерний знак має певний формат, система може відфільтрувати неможливі комбінації символів. Для підвищення надійності розпізнавання модуль може використовувати ансамблеві методи, комбінуючи результати кількох класифікаторів для прийняття остаточного рішення.

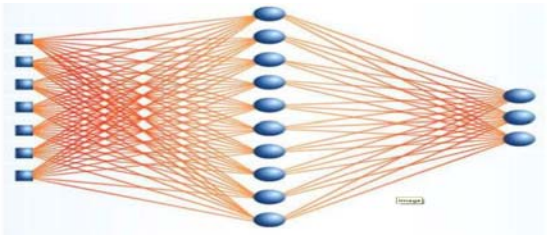


Рисунок 2.19-Нейронна мережа для розпізнавання номерних знаків

Розроблена програмна архітектура системи автоматичного розпізнавання номерних знаків автомобілів (ANPR) базується на принципах модульності, конвеєрного потоку даних та використання глибокого навчання (рисунок 2.20), що забезпечує високу масштабованість та продуктивність. Ядром системи є модуль обробки та розпізнавання на основі нейронних мереж, який використовує оптимізовані згорткові нейронні мережі для виконання двох ключових завдань: детекції (виявлення місцезнаходження номерного знака) та розпізнавання (визначення символів). Застосування сучасних методів глибокого навчання гарантує високу точність роботи системи навіть у складних умовах освітлення або при частковій детекції. Для забезпечення мінімізації затримки (latency) в режимі реального часу критичні обчислювальні операції, зокрема інференс нейронних мереж, реалізовано з підтримкою GPU-прискорення, багаторазово підвищуючи пропускну здатність обробки відеопотоків.

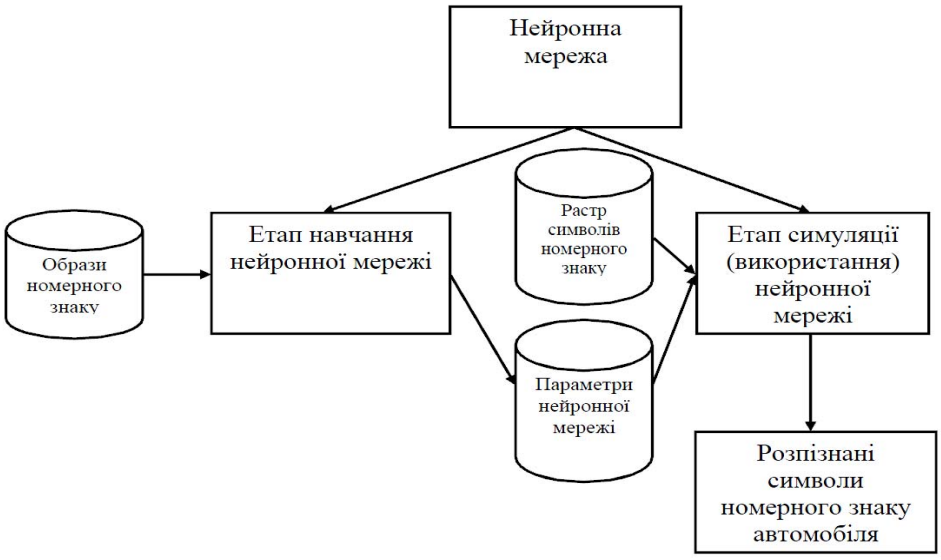


Рисунок 2.20- Використання глибинного навчання нейромереж для розпізнавання номерних знаків

Потік даних у системі організований за конвеєрним принципом, де результат роботи модуля обробки передається до модуля ідентифікації та управління даними. Цей компонент відповідає за персистентне зберігання розпізнаних номерних знаків, часових міток, зображень та супутньої метаінформації в системі баз даних. Модуль підтримує складні запити та фільтрацію (пошук за номером, статистичний аналіз) і використовує індекси для забезпечення швидкого доступу. Життєво важливим аспектом є безпека: реалізовані механізми резервного копіювання, шифрування чутливих даних та контроль доступу на основі ролей користувачів (RBAC).

Система «моніторингу та діагностики здійснює безперервний контроль за станом усіх модулів, продуктивністю обробки та точністю розпізнавання». Вона генерує сповіщення (алерти) при виникненні критичних ситуацій (наприклад, втрата зв'язку з камерою), а також надає інтерфейс користувача для ручного коригування помилково розпізнаних номерів. Це коригування не лише виправляє поточний результат, але й слугує джерелом якісних навчальних даних для подальшого додаткового навчання нейронної мережі. Зручний Інтерфейс користувача (UI) надає оператору

візуалізацію процесу в реальному часі, відображаючи відеопотік з виділенням детектованих знаків, та інструменти для формування звітів. Для інтеграції із зовнішніми системами (наприклад, системами контролю доступу) надається стандартизований API.

Масштабованість архітектури досягається через горизонтальне масштабування – можливість реплікації обчислювальних модулів та розподіл навантаження між ними за допомогою балансувальника. Взаємодія між компонентами забезпечується через центральний диспетчер або систему черг повідомлень для асинхронної обробки та забезпечення надійності передачі даних.

Запропонована модульна архітектура системи розпізнавання номерних знаків, що базується на глибокому навчанні, забезпечує надійну та високоточну обробку відеопотоків у режимі реального часу. Чітке розділення функціоналу між модулями (обробка на GPU, персистентне зберігання, моніторинг) дозволяє незалежно оновлювати та вдосконалювати окремі компоненти. Інтеграція сучасних нейронних мереж, механізмів масштабування та суворі вимоги до безпеки даних роблять цю систему гнучким, високопродуктивним та адаптивним рішенням для широкого спектру задач, пов'язаних з автоматичним контролем та обліком автотранспорту.

3. РЕАЛІЗАЦІЯ СХЕМИ ТА НАЛАШТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО НОМЕРА ПРАВОПОРУШНИКА

3.1 Розробка алгоритмів ідентифікації та розпізнавання номерного знака транспортного засобу

Розробка алгоритмів ідентифікації та розпізнавання номерного знака (НЗ) транспортного засобу є ключовим елементом функціонування сучасних інтелектуальних систем контролю дорожнього руху. Ефективність такої системи визначається здатністю алгоритмів коректно виявляти та інтерпретувати інформацію з НЗ за різних зовнішніх умов, зокрема в умовах поганого освітлення, сильних тіней, відблисків, динамічної сцени або часткового перекриття об’єкта. З огляду на це, процес розробки включає побудову цілісної послідовності обробки зображень, яка складається з етапів попередньої обробки, детекції області НЗ, сегментації символів, інтелектуального розпізнавання, а також глибинного аналізу та перевірки відповідності символів встановленим стандартам. Усі ці етапи формують єдиний алгоритмічний конвеєр, оптимізований для роботи в реальному часі та для обробки великої кількості кадрів.

При проектуванні системи необхідно враховувати практичні потреби реальної експлуатації, що сформували набір критичних вимог до архітектури та імплементації алгоритмів. Ці вимоги випливають не з абстрактних теоретичних міркувань, а з точки зору практичної реалізації даної системи. Система повинна демонструвати передбачувану поведінку в межах визначеного діапазону експлуатаційних умов. Під час практичного застосування алгоритм повинен забезпечувати стабільну обробку кожного кадру без критичних збоїв або аварійних зупинок. Це досягається через застосування захисного програмування на кожному етапі обробки: валідація

вхідних даних перед їх використанням, перевірка граничних умов при роботі з масивами та буферами, коректна обробка виняткових ситуацій через механізми перевірочних блоків.

При реальній експлуатація системи можуть проявлятись численні граничні випадки, які не враховувалися на етапі початкового проектування. Камери іноді передають пошкоджені кадри через збої в мережі передачі даних, освітлення може змінюватися настільки різко, що алгоритми автоматичної експозиції не встигають адаптуватися, в поле зору камери можуть потрапляти об'єкти, що нагадують номерні знаки за формою та кольором, але не є ними.

Для забезпечення стійкості у алгоритмів необхідно реалізувати багаторівневу систему валідації. На вхідному рівні кожен кадр перевіряється на цілісність: чи відповідає розмір зображення очікуваному, чи містяться в ньому валідні пікселі, чи не перевищує рівень шуму критичний поріг. Якщо кадр не проходить первинну валідацію, він відхиляється без спроби обробки, а система переходить до наступного кадру. При детекції алгоритм перевіряє, чи мають виявлені кандидати розумні геометричні пропорції для номерних знаків. При розпізнаванні символів система аналізує рівень впевненості класифікатора та відхиляє результати з низьким кроком достовірності.

Також алгоритм повинен характеризуватися низькою обчислювальною складністю та економним використанням ресурсів для використання у реальному часі. Ммати відкриту структуру для розширення та модифікації — зручні механізми доповнення функціональності без радикальних змін у базовій логіці. Будуватися за принципом модульності, де кожен компонент виконує чітко визначену роль і може бути незалежно тестований, замінений або оновлений.

Блок схема, що представлена на рисунку 3.1 візуалізує цілісну структурно-логічну побудову алгоритму виявлення та класифікації ідентифікаційних номерів автотранспортних одиниць. Розроблена інтегрована алгоритмічна модель репрезентує три послідовні етапи

технологічного ланцюга ідентифікації державних реєстраційних позначень моторних транспортних засобів у форматі цифрових фотографічних матеріалів:

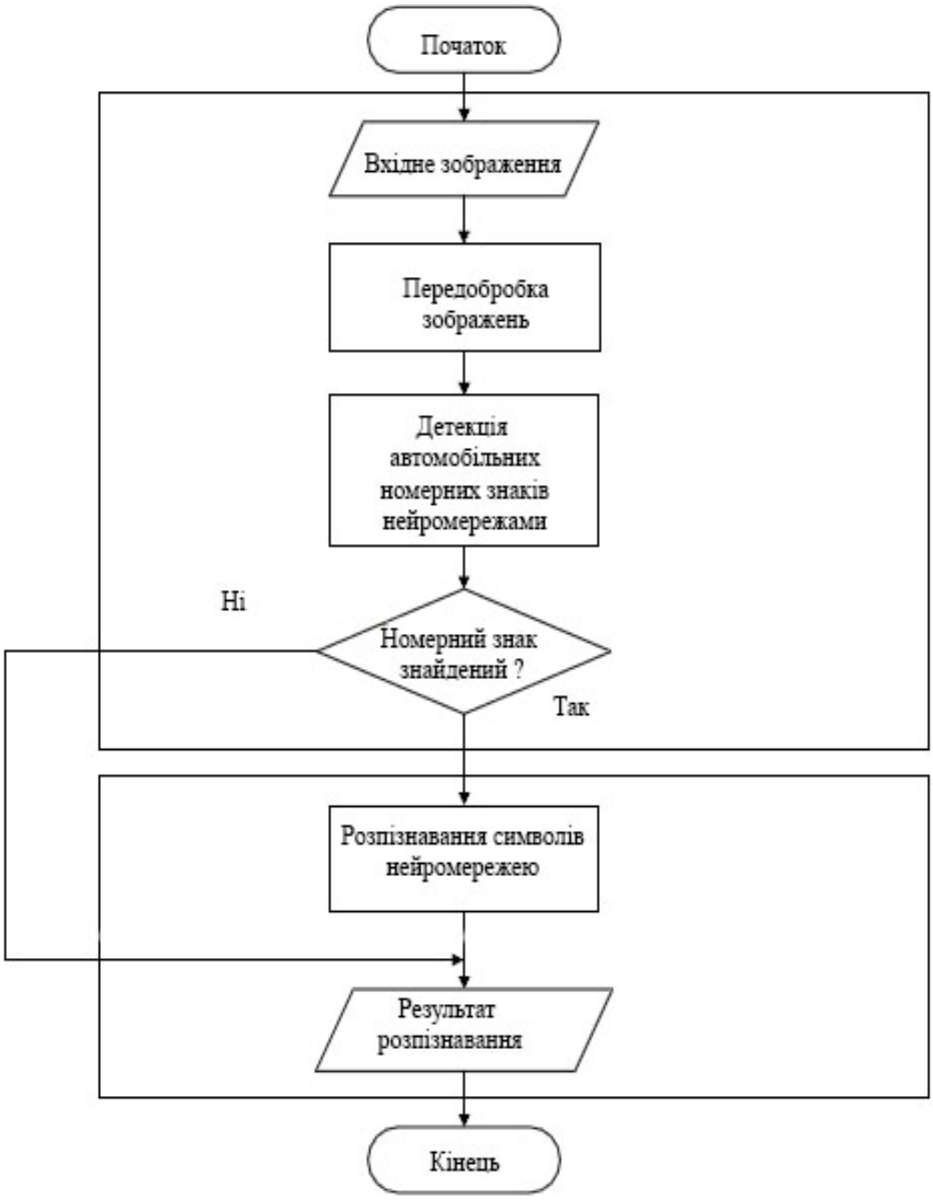


Рисунок 3.1- Алгоритм ідентифікації і розпізнавання номерних знаків

1) Ідентифікація області номерного знака виконується шляхом сегментації символів, який є вкрай чутливим до якості вхідних даних, зокрема до викривлень, нерівного нахилу або пошкоджень поверхні НЗ. Спочатку виконується виправлення геометричного викривлення за допомогою методу пошуку чотирьох опорних точок прямокутника, оскільки номерні знаки часто трапляються під кутом. Далі застосовується

горизонтальна та вертикальна проекційна сегментація: будуються гістограми розподілу чорних пікселів, за локальними мінімумами яких визначаються межі між сусідніми символами. На завершення виконується нормалізація сегментів, коли кожний символ масштабується до єдиного розміру для забезпечення стабільності роботи моделі розпізнавання.

2. Розпізнавання символів включають дворівневу систему для підвищення точності. На першому рівні виконується фільтрація символів на основі їхніх геометричних властивостей (висота, ширина, заповненість), щоб відсіяти частинки бруду чи дефекти. Основне розпізнавання виконується на другому рівні за допомогою згорткової нейронної мережі (CNN), оптимізованої для набору символів, характерних для номерних знаків (латинські та українські літери, арабські цифри). Модель навчена працювати з деформованими або частково пошкодженими символами, що критично підвищує її стійкість у реальних умовах.

Синтаксична перевірка розпізнаних символів є заключним етапом. Оскільки НЗ мають суворо визначений формат, система перевіряє відповідність отриманої послідовності стандартам, контролюючи наявність допустимих літер, правильну кількість цифр та відповідну структуру групування символів. У разі виявлення некоректних елементів система застосовує механізми повторної обробки або корекції, що дозволяє мінімізувати ймовірність хибного розпізнавання.

Розроблений алгоритмічний комплекс, поєднуючи сучасні методи машинного навчання та класичні підходи комп’ютерного зору, забезпечує високу точність функціонування на різнорідних даних, стійкість до завад та оптичних спотворень, можливість роботи в реальному часі та адаптивність до різних стандартів НЗ. Одержаний алгоритм (рисунок 3.2) можна застосовувати інтеграції в апаратно-програмні комплекси з фіксації порушень, системи автоматизованого доступу та інтелектуальні транспортні мережі.

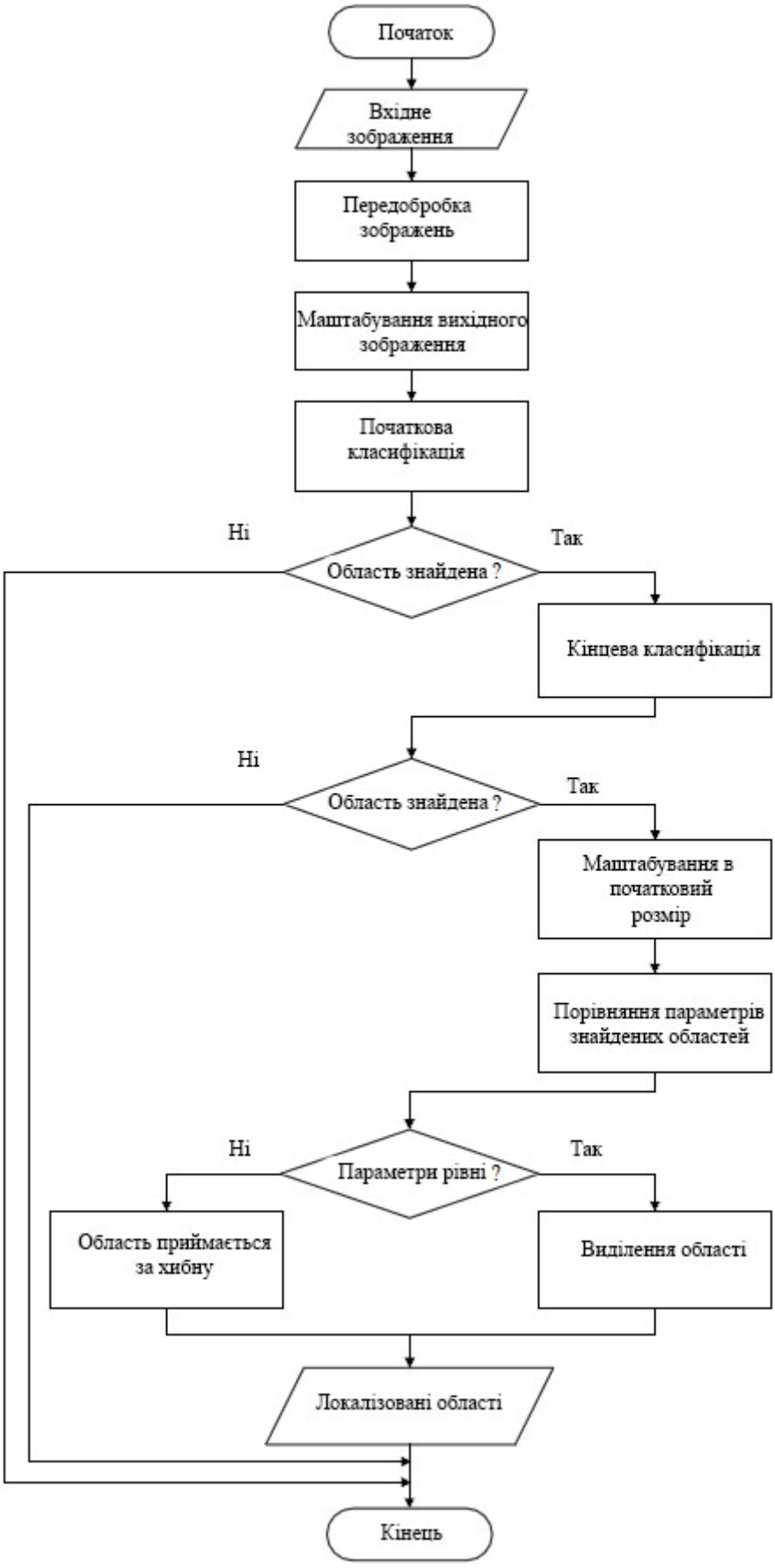


Рисунок 3.2- Логічна схема алгоритму ідентифікації символів номерного знаку

Представлена на рисунку 3.2 блок-схема відображає узагальнену методологію виявлення літерно-цифрових складових реєстраційних НЗ, яка ґрунтується на послідовному перетворенні та аналізі вхідного зображення. На початковому етапі відбувається підготовка даних: вихідне кольорове зображення переводиться з простору RGB у формат відтінків сірого, що дозволяє зменшити інформаційний надлишок і виокремити структуру об’єктів, релевантних подальшій обробці. Після цього здійснюється керована модифікація масштабів вхідного кадру. Зображення багаторазово переформатовуються шляхом застосування різних коефіцієнтів масштабування у межах 0.8–1.2, що забезпечує отримання набору варіантів кадру з різними геометричними характеристиками. Таке масштабне перетворення дає змогу нейромережевій системі краще сприймати символи різної величини й ефективніше їх локалізувати.

Отримані версії проходять початкове класифікаційне оцінювання за допомогою моделі глибинного навчання. На цьому етапі можливі поодинокі помилки ідентифікації, оскільки аналіз проводиться на швидкому рівні, орієнтованому на первинне відсівання нерелевантних ділянок. Після проміжного відбору виконується поглиблений аналіз — нейромережева система повторно обробляє знайдені сегменти, уточнюючи їх межі, форму та візуальні характеристики. У результаті відсіюється частина хибнопозитивних областей, а масштаб сегментів коригується відповідно до оригінальної геометрії кадру.

На наступному етапі система здійснює оцінювання просторових параметрів отриманих сегментів, визначаючи їх координати, межі та взаємне розташування. Сегменти, що перетинаються або демонструють споріднені властивості, групуються у структурні об’єднання, які інтерпретуються як достовірні області літерно-цифрових знаків. Водночас ділянки з нетиповими характеристиками класифікуються як артефакти і вилучаються з подальшого аналізу. Завершальним етапом методології є графічне маркування

перевірених сегментів на вихідному зображенні, що формує наочну індикацію знайдених символів реєстраційної таблички.

Запропонований алгорит розпізнавання літерно-цифрових значень відображена на рисунку 3.3, та представляє покрокову логіку обробки даних у межах створеного програмного модуля. Вихідне зображення проходить процедуру варіювання масштабу із застосуванням коефіцієнтів у діапазоні 1.0–1.2, що дозволяє моделі адаптивно реагувати на символи різних розмірів, а також робить алгоритм стійкішим до зміни відстані до об’єктива. Далі здійснюється високоточний аналіз зображення: нейромережева архітектура виділяє ділянки, в яких активаційні значення перевищують визначений поріг, що свідчить про високу ймовірність наявності елементів номерного знака.

Після цього виконані зображення та відповідні сегменти повертаються до початкового розміру. Вибрані області проходять процедуру структурної перевірки на відповідність встановленим вимогам. Так, якщо вертикальний розмір сегмента h не перевищує 30% максимальної висоти зображення h_max (умова $h \leq 0.3 \cdot h_max$), така ділянка вважається нерелевантною та виключається як потенційно шумова. На підставі отриманих геометричних та текстурних параметрів виконується порівняння сегментів: ті, що виявляють подібність за формою, контрастністю та інтенсивністю, трактуються як справжні зони символів, а решта - як псевдовиявлення, що не мають відношення до реєстраційних даних.

У фінальній стадії здійснюється графічне оформлення локалізованих об’єктів: кожний підтверджений сегмент маркується прямокутною рамкою, а відповідні символи, встановлені в результаті класифікації, виводяться на екран у текстовому форматі. Це забезпечує не лише наочну інтерпретацію роботи алгоритму, але й можливість інтеграції результатів у подальші автоматизовані процедури, такі як реєстрація подій, ідентифікація транспортних засобів або формування службових повідомлень системи (рисунок 3.3).

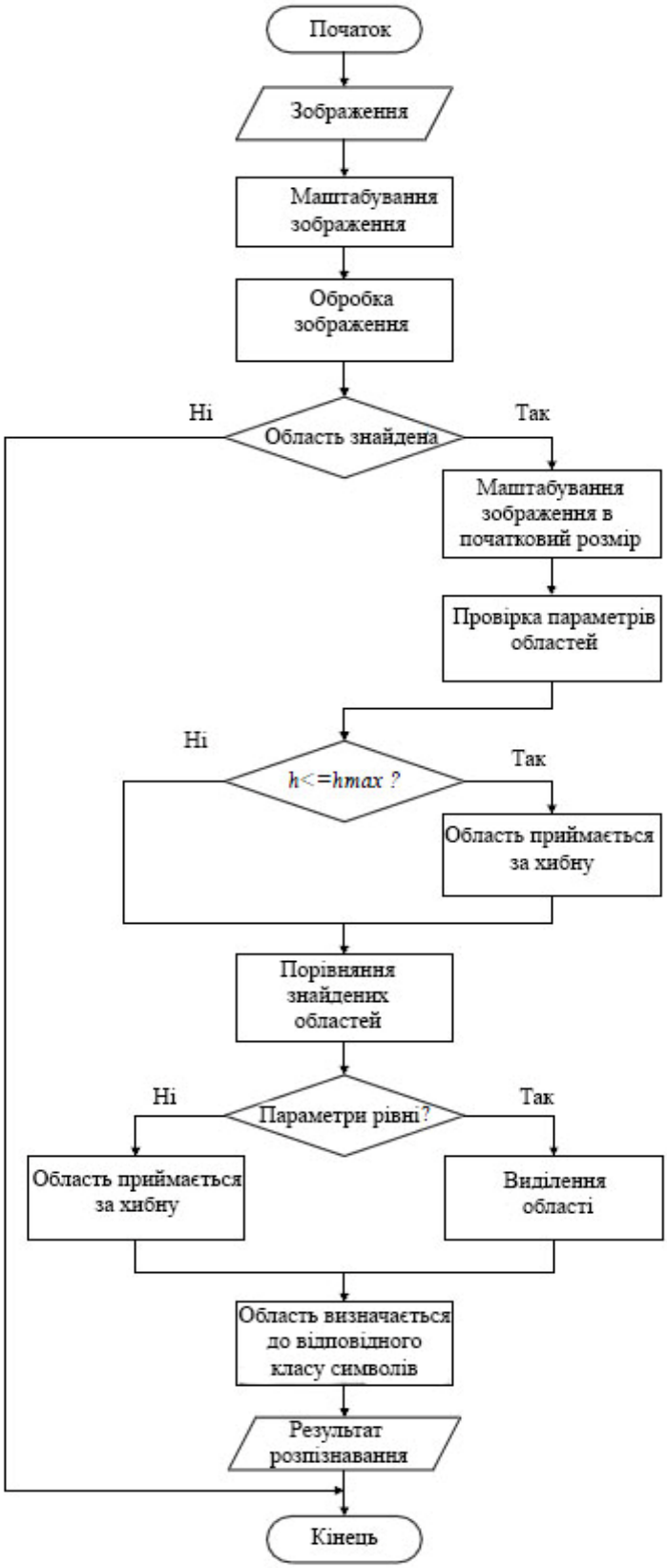


Рисунок 3.3 - Структурна діаграма методики декодування літерно-цифрових елементів реєстраційних табличок автотранспорту

Таким чином, визначені ключові критерії до створених методологій виявлення та декодування символьних компонентів реєстраційних позначень транспортних одиниць уможливлять імплементацію програмного інструментарію на базі нейромережевих архітектур із оптимальними заданими параметрами ефективності.

3.2 Розробка програмного модуля ідентифікації та розпізнавання номерних знаків транспортних засобів у середовищі MATLAB

Розробка програмних засобів «автоматичного розпізнавання номерних знаків вимагає системного підходу, що інтегрує методи цифрового опрацювання графічної інформації, технології машинного навчання та нейромережеві структури». Середовище MATLAB пропонує розширений функціонал для створення подібних систем, об'єднуючи спеціалізовані бібліотеки обробки візуальних даних, інструменти deep learning та засоби швидкої алгоритмічної розробки.

Процес конструювання програмного модуля, здатний виконувати автоматичну локалізацію та інтерпретацію літерно-цифрових елементів реєстраційних табличок автомобілів. У контексті реалізації даного завдання розглядаються ключові аспекти архітектурної організації системи, специфіка вибору інструментальних засобів, методологія навчання нейромережевих моделей та процедури верифікації функціональності розробленого рішення.

Створюваного програмного компонента у середовищі MATLAB полягає у можливості його інтеграції до систем інтелектуального управління транспортними потоками. Вибір даної платформи обумовлений її потужними можливостями у сфері числового аналізу, наявністю спеціалізованих бібліотек для роботи з нейронними мережами та зручними інструментами візуалізації результатів обчислень.

У якості архітектурної основи для розпізнавання реєстраційних позначень автомобілів застосовано багатошарову нейромережу прямого розповсюдження сигналу (feedforward neural network), що характеризується наступною топологічною конфігурацією: вхідний шар складається з 366 вузлів, що відповідає розмірності векторизованого зображення символу; прихований обчислювальний рівень містить 50 нейронних елементів, які забезпечують виділення ключових ознак та формування внутрішнього представлення даних; вихідний класифікаційний шар включає 46 нейронів, кожен з яких асоційований з окремим символом з можливого алфавіту (українські літери, латинські символи та цифри 0-9).

Для реалізації нелінійного перетворення сигналів у кожному обчислювальному рівні мережі використано логістичну сигмоїдну функцію активації (log-sigmoid transfer function), що математично описується виразом.

$$f(x) = 1/(1+e^{(-x)}) \quad (3.2)$$

Перевагами даної активаційної функції є її диференційовність на всій області визначення, обмежений діапазон вихідних значень [0,1] та плавна нелінійна характеристика, що сприяє стабільності процесу навчання.

Процес адаптації параметрів нейромережевої моделі здійснюється за допомогою алгоритму зворотного розповсюдження помилки з градієнтним спуском. Ця методологія, базується на ітеративній корекції вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків та порогових значень нейронів шляхом мінімізації цільової функції втрат. Математично процедура оновлення ваг описується формулою:

$$w(t+1) = w(t) - \eta \cdot \nabla E(w), \quad (3.3)$$

де η — швидкість навчання,

$\nabla E(w)$ — градієнт функції помилки відносно ваг.

Навчальний процес нейромережі організовано за принципом навчання з учителем (supervised learning), що передбачає використання анотованого датасету, який містить якісні зразки зображень символів

номерних знаків з відповідними мітками класів. Навчальна вибірка була сформована з урахуванням різноманітності умов зйомки: варіації освітлення, кути нахилу камери, різні метеорологічні умови, ступені зношеності табличок. Загальний обсяг навчальних прикладів становив понад 5000 зразків для забезпечення достатньої генералізаційної здатності моделі.

Динаміка процесу навчання нейромережевої архітектури, що відображає швидкість конвергенції до мінімального значення середньоквадратичної помилки графічно представлена на рисунку 3.4. Аналіз кривої навчання дозволяє оцінити ефективність обраної конфігурації мережі та виявити потенційні проблеми перенавчання або недонавчання моделі. Як видно з графіка, стабілізація значення функції втрат відбувається приблизно після 150-200 епох навчання, що свідчить про досягнення оптимального стану параметрів мережі.

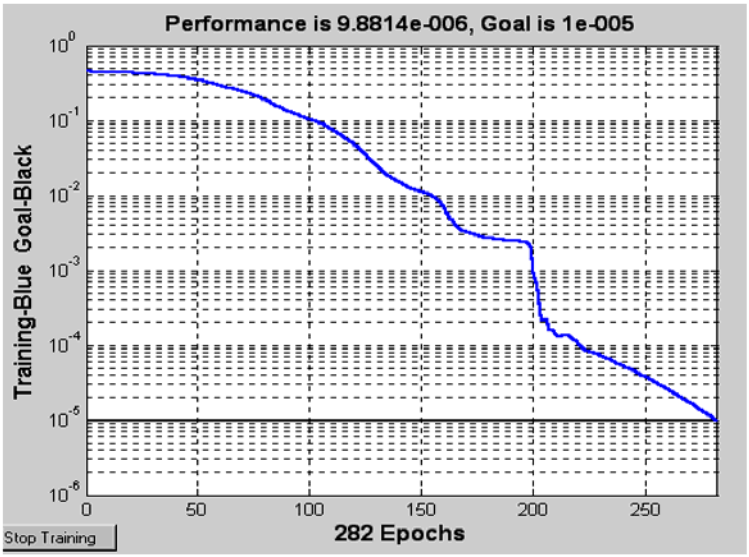


Рисунок 3.4- Швидкість навчання нейронної мережі

У рамках запропонованої архітектури, кожний вихідний вузол нейромережевої структури асоціюється з конкретним літерно-цифровим елементом, що підлягає ідентифікації системою розпізнавання. Механізм прийняття рішення базується на принципі "переможець отримує все" (winner-takes-all): той нейрон вихідного шару, який демонструє максимальну

активацію серед усіх 46 можливих варіантів, визначає фінальний результат класифікації. Математично це можна виразити як: Class = argmax(y_i), де y_i - активація і-го вихідного нейрона, і ∈ [1,46].

Процедура навчання нейромережевої моделі конфігурується з метою досягнення надзвичайно високої точності апроксимації, що забезпечується встановленням цільового значення середньоквадратичної похибки (Mean Squared Error) на рівні 0,00001. Така stringent вимога до точності обумовлена критичною важливістю коректної ідентифікації символів у контексті систем автоматичного розпізнавання номерних знаків, де навіть одиничні помилки можуть призвести до хибної ідентифікації транспортного засобу. Критерій зупинки навчання формулюється як:

$$MSE = (1/N)\Sigma(t^i - y^i)^2 \leq 0{,}00001, \quad (3.4)$$

де N — кількість навчальних прикладів,

t^i — цільове значення,

y^i — фактичний вихід мережі.

З метою комплексної оцінки робастності розробленої системи та аналізу впливу деградації якості вхідних даних на ефективність розпізнавання, було проведено серію експериментів із штучним внесенням різних типів спотворень у тестові зображення. Зокрема, оброблені зображення символів номерних знаків піддавалися контамінації імпульсним шумом категорії "сіль і перець" (salt-and-pepper noise), що характеризується випадковою заміною пікселів зображення на екстремальні значення яскравості (0 або 255 для 8-бітного представлення).

Статистичні параметри генерованого шуму визначалися згідно з нормальним (Гауссовим) законом розподілу ймовірностей, що математично описується функцією густини:

$$p(x) = (1/\sigma\sqrt{(2\pi)})\cdot\exp(-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)) \quad (3.5)$$

де μ — математичне очікування, σ — середньоквадратичне відхилення. Рівні зашумлення варіювалися у діапазоні від 5% до 30% пошкоджених пікселів, що дозволило змоделювати різні сценарії погіршення

якості зображень внаслідок несприятливих умов зйомки, технічних дефектів камери або перешкод на оптичному тракті.

Контаміновані шумом графічні дані систематично подавалися на вхідний шар нейромережевої архітектури для проведення класифікаційного аналізу в умовах, наближених до реальних експлуатаційних сценаріїв. Експериментальне дослідження охоплювало понад 1000 тестових зразків для кожного рівня зашумлення, що забезпечило статистичну значущість отриманих результатів.

Візуалізація результатів ідентифікації цифрових компонентів реєстраційних табличок автотранспортних засобів в умовах різних рівнів деградації вхідних даних детально представлена на рисунку 3.5. Графічне представлення включає порівняльний аналіз точності розпізнавання для кожної цифри (0-9) залежно від інтенсивності шумових спотворень, що дозволяє ідентифікувати найбільш уразливі символи та оцінити загальну стійкість системи до погіршення якості вхідних зображень.

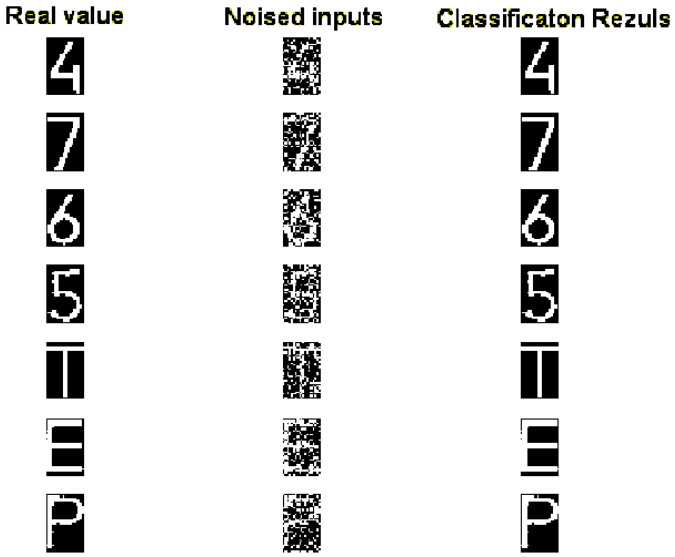


Рисунок 3.5 – Ідентифікація літерно-цифрових елементів за допомогою штучної нейромережевої архітектури

Графічне представлення на рисунку 3.5 структуровано у трьохколонковому форматі для демонстрації послідовних етапів обробки

інформації. Ліва колонка містить еталонні зразки символів, які використовувалися як навчальний датасет для тренування нейромережевої моделі. Ці бінаризовані образи характеризуються високою контрастністю та відсутністю деградації якості, що забезпечує оптимальні умови для формування внутрішніх представлень у прихованих шарах мережі.

Центральна колонка рисунку 3.5 демонструє ті самі символьні образи після процедури штучної контамінації імпульсним шумом категорії "сіль і перець" (salt-and-pepper noise). Цей тип стохастичних спотворень характеризується випадковою інверсією значень окремих пікселів до екстремальних рівнів яскравості, що імітує реальні умови деградації візуальної інформації внаслідок технічних дефектів сенсорів, атмосферних перешкод або електромагнітних інтерференцій. Саме ці зашумлені графічні дані подавалися на вхідний шар нейронної мережі для проведення класифікаційного аналізу в умовах обмеженої якості вхідних сигналів[22].

Права колонка рисунку 3.5 відображає фінальні результати декодування символів, отримані на виході нейромережевої системи після обробки контамінованих зображень з середньої колонки. Візуальне порівняння трьох колонок дозволяє оцінити робастність розробленої архітектури та її здатність до коректної ідентифікації символів навіть за наявності значних спотворень вхідних даних.

З метою всебічного статистичного аналізу впливу шумових спотворень на ефективність розпізнавання літерно-цифрової інформації нейромережевою системою, було реалізовано масштабне експериментальне дослідження. Методологія експерименту передбачала наступну процедуру: кожен символ з тестового набору піддавався множинній контамінації шумом типу "сіль і перець" з фіксованою щільністю пошкоджених пікселів (рівень шуму); для кожного рівня зашумлення генерувалося 50 унікальних реалізацій стохастичного процесу, що забезпечувало статистичну репрезентативність результатів; кожна зашумлена версія символу незалежно подавалася на вхід навченої нейромережі для класифікації.

Такий підхід дозволив отримати не точкові оцінки точності, а розподіли ймовірностей коректного розпізнавання для кожного рівня деградації, що забезпечує більш надійну характеристику системи. Рівні шуму варіювалися в діапазоні від 0% до 40% з кроком 2%, охоплюючи весь спектр від ідеальних умов до критичних рівнів спотворень.

Кількісна залежність між інтенсивністю шумових спотворень та показниками точності ідентифікації літерно-цифрових компонентів нейромережевою архітектурою візуалізовано на рисунку 3.6. Графічне представлення включає криві залежності для різних категорій символів (цифри, українські літери, латинські літери), що дозволяє ідентифікувати диференційовану чутливість до шуму різних класів символів та визначити критичні пороги деградації, за яких точність розпізнавання стає неприйнятною для практичного застосування системи.

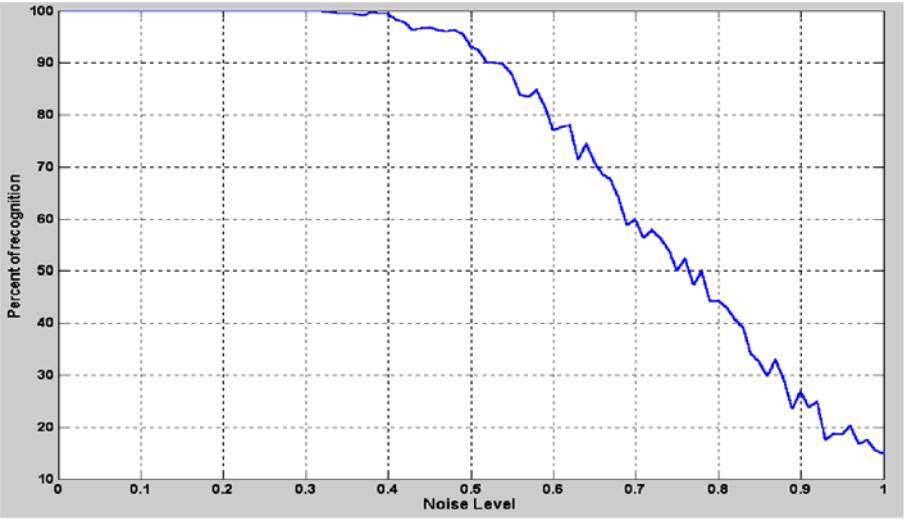


Рисунок 3.6 – Динаміка точності ідентифікації літерно-цифрових елементів залежно від інтенсивності стохастичних спотворень

Аналіз експериментальних даних, представлених на рисунку 3.6, демонструє високу робастність запропонованої нейромережевої архітектури прямого розповсюдження сигналу до імпульсних шумових спотворень типу. Ключовим результатом є система зберігає рівень точності коректної класифікації символів на рівні 95% навіть за умови екстремальної деградації

вхідних даних, коли контамінації піддається половина пікселів вхідного зображення (щільність шуму 50%).

Така виняткова стійкість нейромережевої моделі пояснюється кількома факторами: по-перше, багатошарова архітектура з нелінійними активаційними функціями формує ієрархічні представлення вхідних даних, виділяючи інваріантні ознаки символів, які залишаються стабільними навіть при значних локальних спотвореннях; по-друге, навчання на великому обсязі різноманітних прикладів забезпечує формування узагальнюючих шаблонів розпізнавання; по-третє, збалансована топологія мережі з оптимальним співвідношенням між кількістю параметрів та складністю завдання запобігає перенавчанню та сприяє стійкості до зовнішніх збурень.

Графічний аналіз кривої залежності на рисунку 3.6 виявляє нелінійний характер деградації точності: у діапазоні щільності шуму 0-30% спостерігається плавне зниження точності з 100% до 98%, тоді як у критичному діапазоні 30-50% темпи зниження прискорюються, проте система зберігає функціональну придатність навіть за екстремальних умов. Це свідчить про наявність значного запасу робастності, що є критично важливим для надійної експлуатації системи в реальних умовах з непередбачуваними факторами деградації якості зображень.

З метою верифікації ефективності розробленого програмного модуля в автентичних експлуатаційних сценаріях, було організовано серію натурних експериментів з використанням реальних фотографій автотранспортних засобів. Тестовий датасет формувався шляхом здійснення знімків різних автомобілів у різноманітних умовах: варіації природного та штучного освітлення (денний час, сутінки, нічна зйомка з підсвіткою), різні метеорологічні умови (ясна погода, дощ, туман), варіації кутів зйомки (фронтальний, під кутом до 45°), різні відстані до об'єкта (від 3 до 15 метрів), різні ступені зношеності та забруднення номерних табличок.

Зібрана колекція тестових зображень, фрагменти якої представлено на рисунку 3.7, характеризується широким спектром рівнів природної деградації

якості: від ідеальних умов з чіткими, контрастними номерними знаками до складних сценаріїв з частковими окклюзіями, відблисками світла, розмиттям через рух об'єкта та іншими реальними артефактами, що суттєво ускладнюють процес автоматичної ідентифікації.

Рисунок 3.7 – Відеозображення автомобілів для параметричної ідентифікації реєстраційних знаків за допомогою штучних нейромереж

Із символів найвищої якості сформовано навчальну вибірку (рисунок 3.8а), тоді як решта символів застосовано для верифікації натренованої нейромережевої моделі (рисунок 3.8б).

а)

б

Рисунок 3.8 – Графічні представлення символів для тренування (а) та ідентифікації (б) нейромережею

Графічні зразки навчальної вибірки не підлягають попередній обробці. Внаслідок цього перетворення формується бінарна матриця з параметрами 30×19 елементів для кожного символьного зображення

(рисунок 3.9). Надалі бінарна матриця перетворюється на одномірний вектор, адаптований для подання на вхідний шар нейромережі.

Багатошарова персептронна архітектура для ідентифікації реєстраційних знаків складалася з вхідного шару на 570 нейронів, одного прихованого шару та вихідного шару на 10 нейронів. Усі шари реалізовано із синусоїдальною функцією активації нейронних елементів.

Рисунок 3.9 – Бінарна трансформація графічного представлення символу

На рисунку 3.10 продемонстровано основний інтерфейс створеного програмного забезпечення, що візуалізує логічну послідовність операцій, які користувач має виконати для ідентифікації відеозображень реєстраційних знаків транспортних засобів. Зокрема, у напрямку зліва направо представлені такі елементи основного інтерфейсу: інформаційна довідка, завантаження зображення, покращення якості, локалізація номерного знаку, ідентифікація символів, автоматизований режим, завершення роботи.

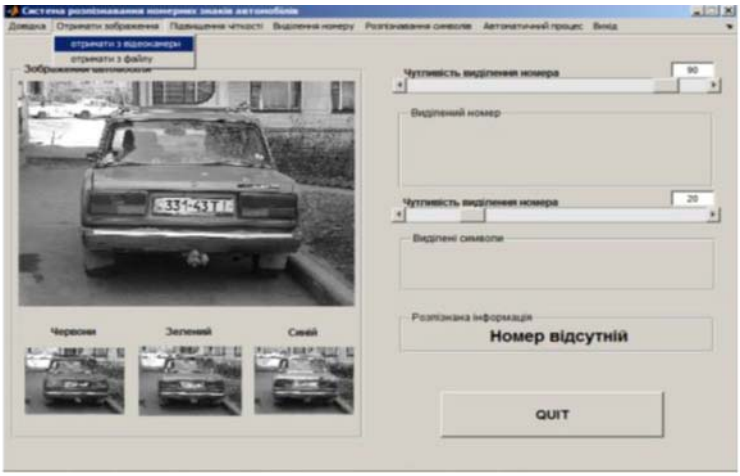


Рисунок 3.10 – Інтерфейс головного модуля програмного застосунку

Функціональний блок отримання візуальних даних реалізує дуальну модель завантаження відеопотоку, забезпечуючи гнучкість у виборі джерела графічної інформації. Перший режим передбачає захоплення відеопослідовності в реальному режимі безпосередньо з підключеного апаратного відеореєстратора, такого як вебкамера, IP-камера або USB-пристрій захоплення відео. Другий режим дозволяє здійснювати імпорт попередньо збережених медіафайлів різних форматів з локального або мережевого сховища даних, що виявляється корисним для пост-процесингу, налагодження алгоритмів або обробки архівних матеріалів.

Розділ конфігураційних налаштувань у діалоговому інтерфейсі програми структуровано у вигляді ієрархічного меню з двома ключовими підрозділами, кожен з яких відповідає за специфічні аспекти обробки візуальної інформації та забезпечує детальне керування параметрами захоплення зображень.

Підменю Source надає комплексний набір інструментів для динамічної корекції колориметричних та фотометричних характеристик вхідного відеопотоку. Користувач може оперативно модифікувати параметри захопленого відеокадру з негайною візуалізацією змін у режимі реального часу, як показано на рисунку 3.11. Зокрема, доступна адитивна корекція яскравості для компенсації недостатнього або надмірного освітлення сцени, мультиплікативна модифікація контрастності для підвищення розбірливості деталей шляхом посилення різниці між темними та світлими ділянками зображення, а також регулювання насиченості кольору для управління інтенсивністю хроматичних компонентів без зміни яскравості.

Окрема увага приділена можливості гамма-корекції, яка здійснює нелінійну трансформацію тональної кривої за степеневим законом, забезпечуючи оптимізацію перцептивної якості зображення відповідно до характеристик людського зору. Додатково реалізовано функціонал балансування білого для компенсації колірного зсуву, викликаного

спектральними характеристиками джерела освітлення, керування експозицією для запобігання переекспонування або недоекспонування в умовах змінного освітлення, та посилення різкості через акцентування високочастотних компонентів зображення.

Ці налаштування виконують критично важливу роль препроцесингу візуальних даних перед їх подачею на вхід основних алгоритмів детекції та розпізнавання, що дозволяє адаптувати систему до різноманітних експлуатаційних умов без необхідності перенавчання нейромережевих моделей. Інтерактивний характер регулювання з миттєвим відображенням результатів забезпечує оператору можливість оперативної оптимізації параметрів для досягнення максимальної якості вхідних даних, що безпосередньо впливає на точність та швидкість подальшої обробки.

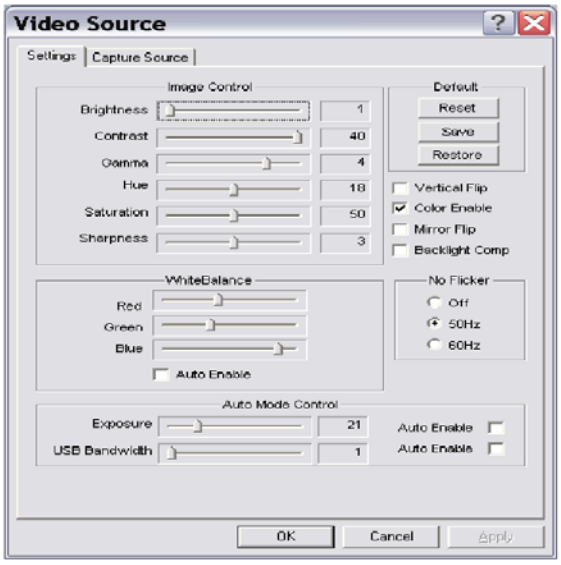


Рисунок 3.11 – Інтерфейс налаштування параметрів джерела відеосигналу

Підрозділ Format забезпечує користувача функціональними можливостями конфігурації технічних характеристик захоплюваного зображення відповідно до апаратних специфікацій використовуваного відеореєстратора. Зокрема, інтерфейс дозволяє визначити просторову роздільну здатність кадру, обираючи з переліку режимів, що підтримуються конкретною моделлю відеокамери, а також встановити параметри колірної глибини представлення піксельних даних, як продемонстровано на рисунку

3.12. Варіативність роздільності охоплює типові формати від стандартного VGA (640×480) до високочіткого Full HD (1920×1080) та вище, тоді як глибина кольору може коливатися від 8-бітного монохромного представлення до 24-бітного RGB або 32-бітного RGBA з альфа-каналом прозорості [25].

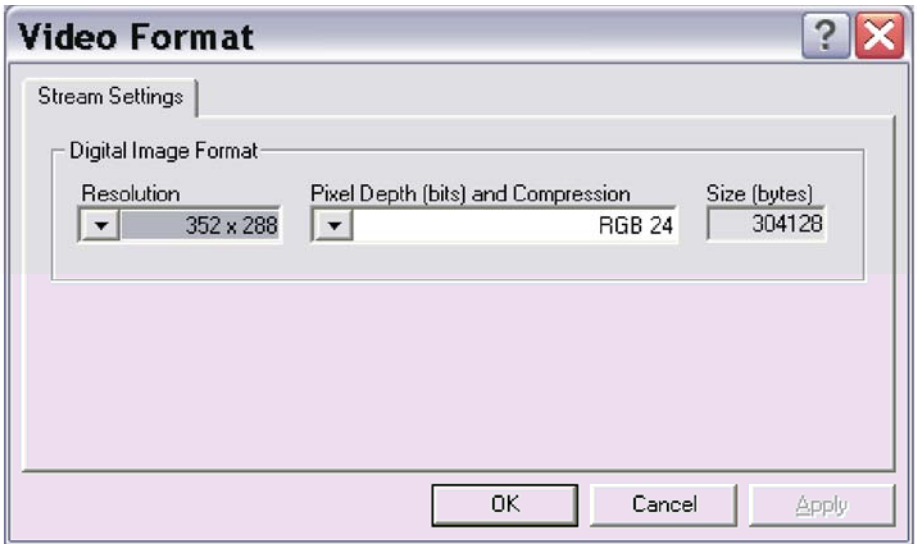


Рисунок 3.12 – Конфігурація параметрів формату графічних даних

Процедурний блок локалізації реєстраційних табличок реалізовано через спеціалізований інтерактивний інтерфейс, що надає оператору систематичний контроль над критичними параметрами алгоритму детекції. Користувач отримує можливість оперативного калібрування порогових значень для двоетапного процесу: спочатку для ідентифікації прямокутної області, що містить номерний знак на загальному зображенні транспортного засобу, а потім для сегментації індивідуальних літерно-цифрових елементів всередині виділеної ділянки. Графічний інтерфейс забезпечує візуалізацію проміжних результатів обробки, демонструючи бінаризоване зображення після порогової фільтрації та множину кандидатних регіонів, які алгоритм класифікує як потенційні локації номерних знаків на основі морфологічних ознак та геометричних критеріїв.

Фінальний результат процедури детекції представляється у двопанельному форматі: ліва секція відображає фрагмент оригінального

зображення з візуально виділеною прямокутною рамкою навколо ідентифікованої реєстраційної таблички, тоді як права секція містить екстраговану та нормалізовану область номерного знаку з індивідуально сегментованими та масштабованими до стандартизованих розмірів символами, готовими для подальшої класифікації.

Ізольовані символьні образи транспортуються на вхідний шар попередньо навченої нейромережевої архітектури. Після завершення фази тренування штучної нейронної мережі, функціональний модуль "Розпізнавання символів" активує процедуру інференсу моделі, яка здійснює класифікацію сегментованих літерно-цифрових елементів реєстраційної таблички автомобіля, як ілюструє рисунок 3.13. Поточна версія програмної реалізації використовує статично конфігуровану архітектуру нейромережі з жорстко закодованими структурними та навчальними параметрами, які ініціалізуються програмно з використанням базових функцій екосистеми MATLAB, таких як feedforwardnet, train, sim та суміжних інструментів Neural Network Toolbox.

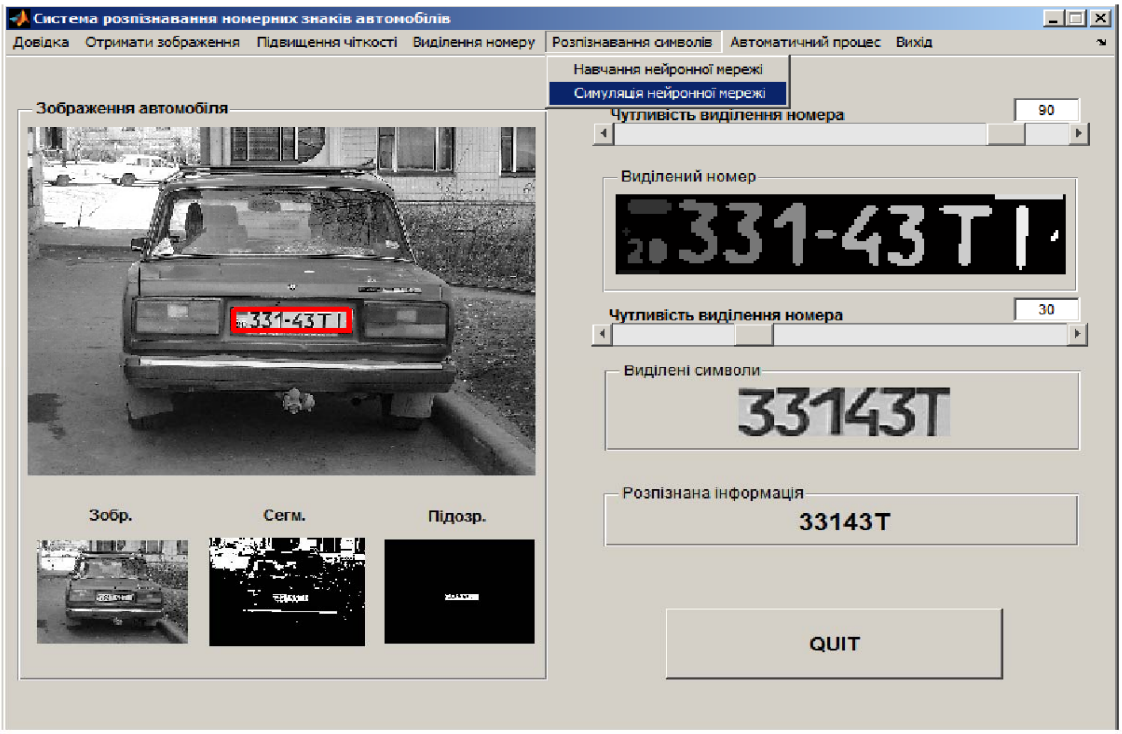


Рисунок 3.13 – Результати нейромережевої ідентифікації символів номерного знаку

Архітектура розробленого програмного комплексу передбачає функціонал автоматизованої безперервної обробки відеопотоку в режимі реального часу. Активація пункту меню "Автоматичний процес" ініціює циклічний алгоритм захоплення послідовних кадрів з відеореєстратора з подальшим застосуванням повного конвеєру обробки: детекція транспортних засобів, локалізація номерних знаків, сегментація символів та нейромережева класифікація. Цей режим звільняє від необхідності ручного втручання оператора для кожного кадру, забезпечуючи автономне функціонування системи в експлуатаційних сценаріях моніторингу транспортних потоків або контролю доступу. Повний вихідний код розробленого програмного модуля з детальними коментарями та структурою функцій систематизовано у Додатку А дипломної роботи для можливості відтворення та подальшого розвитку функціоналу.

3.3 Реалізація Simulink моделі детекції номерного знака правопорушника правил

Розроблення інтегрованої Simulink-моделі для автоматизованої ідентифікації номерних знаків транспортних засобів, що здійснюють порушення правил дорожнього руху, вимагає формування комплексного конвеєра комп'ютерного зору, який органічно поєднує модулі візуалізації даних, з використанням алгоритмів сегментації об'єктів та підсистеми класифікації виявлених регіонів. Створювана модель повинна демонструвати стабільне функціонування в умовах широкого спектру експлуатаційних факторів. Simulink як базової платформи розробки обґрунтовується кількома стратегічними перевагами цього середовища. Зруна графічна блочна парадигма програмування забезпечує інтуїтивну візуалізацію потоків даних та логічних взаємозв'язків між компонентами системи, що значно спрощує процес налагодження та оптимізації алгоритмів. Програма надає можливість безшовної інтеграції програмних алгоритмічних блоків з апаратними

інтерфейсами захоплення відео, що критично важливо для систем реального часу. По-третє, екосистема MATLAB/Simulink підтримує автоматичну генерацію оптимізованого коду (MATLAB Coder, Simulink Coder, Embedded Coder), що уможливлює подальшу імплементацію розробленої моделі на вбудованих обчислювальних платформах, таких як System-on-Chip архітектури NVIDIA Jetson, Xilinx Zynq або аналогічні SoC-рішення з підтримкою апаратного прискорення обчислень комп'ютерного зору.

Як показано на рисунку 3.14, для моделювання системи відеоконтролю дорожнього руху та ідентифікації транспортних засобів було обрано середовище MATLAB у зв’язці з пакетами Simulink та SimPowerSystems. Їхня належність до однієї екосистеми забезпечує повну сумісність математичних блоків та обмінних інтерфейсів. Це дає змогу розробнику об’єднати цифрову обробку відеосигналів із симуляцією динамічних систем, використовуючи при цьому потужні засоби візуалізації.

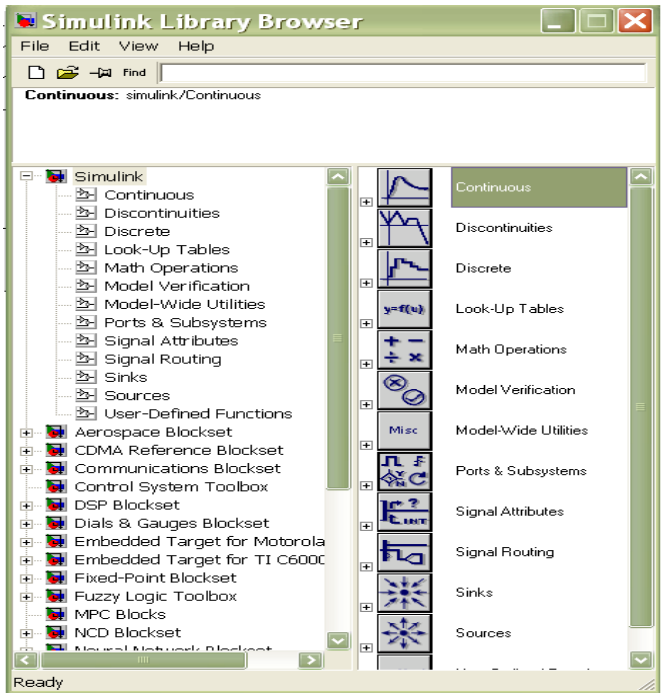


Рисунок 3.14- Програмне середовище MATLAB/ Simulink

Simulink орієнтований на «моделювання, симуляцію та аналіз динамічних об'єктів». Інструментарій дозволяє конструювати «візуальні блокові діаграми, здійснювати імітаційне моделювання динамічних

структур», досліджувати експлуатаційні характеристики систем та покращувати проектні рішення. При роботі з пакетами додатку MATLAB користувач має можливість використовувати бібліотечні блоки, створювати свої власні, а також використовувати нові бібліотеки блоків. Для реалізації Simulink моделі задачі ідентифікації та розпізнавання транспортного номера правопорушника реалізуємо узагальнену схему (рисунок 3.15).

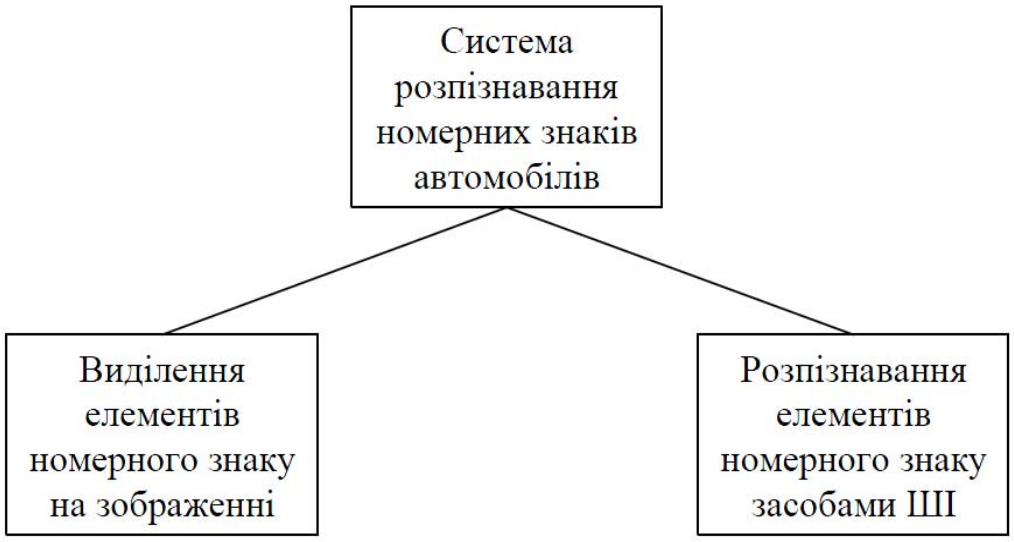


Рисунок. 3.15. Схема алгоритму ідентифікації НТЗ

Для реалізації задачі розпізнавання порушників ПДР змодельовано систему, що інтегрує джерело відеосигналу та модуль аналітики. Процес базується на поточному моніторингу відеоряду та його верифікації згідно з базою шаблонів порушень. Інтерфейс *Control Display* дозволяє оператору перемикатися між режимами перегляду (реальне зображення або різницевий кадр та регулювати поріг детекції аномалій. Крім відеомоніторингу, система генерує три типи вихідних даних: часовий графік відхилень від норми, кількісний облік зафіксованих кадрів та сигнал тривоги при виявленні інциденту.

На рисунку 3.16 наведено детальну реалізацію в Simulink. Алгоритм працює за методом суми абсолютних різниць (SAD). Порівнюючи динамічні кадри з еталонами, блок визначає ступінь відмінності. Якщо цей показник

вищий за встановлений ліміт, активується логіка запису: збільшується значення лічильника подій, а доказовий кадр надсилається на сервер бази даних порушень.

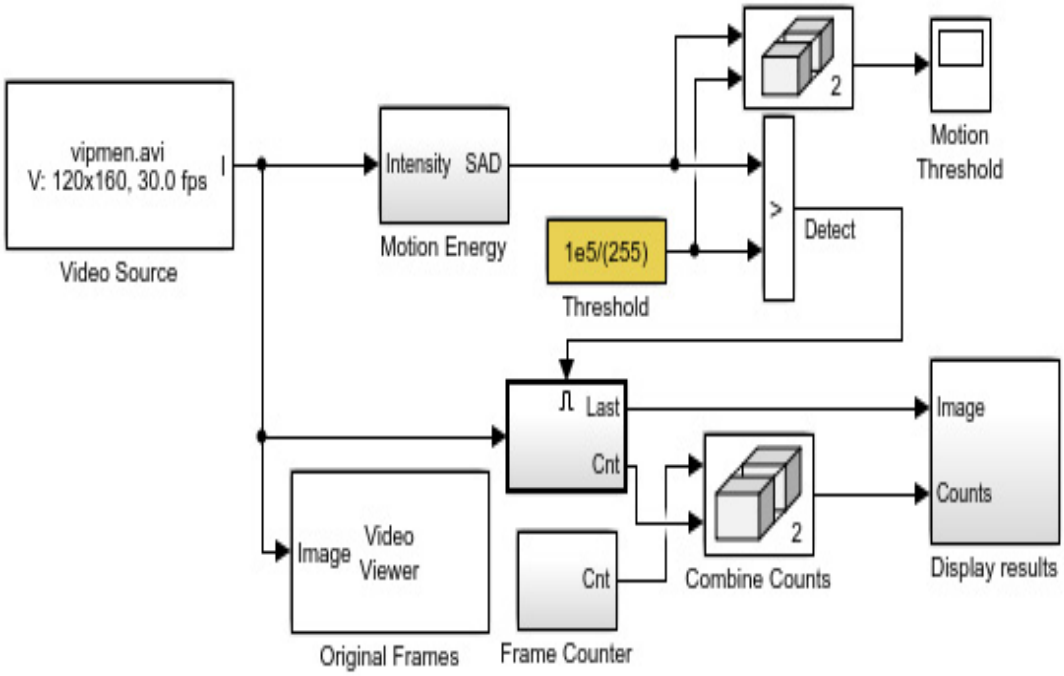


Рисунок 3.16 – Simulink-модель механізму детекції порушення ПДР у системі відеоспостереження

Для ілюстрації функціонування побудованої Simulink-моделі розглянемо сценарій конкретного типу правопорушення - незаконний проїзд транспортного засобу на заборонний (червоний) сигнал світлофора. У такій конфігурації система відеомоніторингу працює у зв’язці з блоком керування світлофорним об’єктом, що дає можливість синхронізувати часові мітки перемикання сигналів зі зміною станів контрольної ділянки дороги.

Алгоритм фіксації порушення ґрунтується на аналізі часового інтервалу між моментом деактивації червоного сигналу та фактом перетину транспортним засобом початкової контрольної позиції**.** Якщо в модулі порівняння формується ненульова різниця, тобто система фіксує активний стан «червоне світло», а транспортний засіб у цей час входить у визначену

зону контролю, Simulink-модель ініціює процедуру автоматичного фотофіксування.

Отримане зображення номерної пластини передається на серверні модулі Національної поліції, де здійснюється OCR-розпізнавання реєстраційного знака, ідентифікація транспортного засобу в загальнодержавній базі даних та формування постанови про накладення адміністративного стягнення.

На рисунку 3.17 наведено структурну Simulink-модель, яка відтворює логіку виявлення порушення типу «проїзд на червоне світло світлофора» та механізм ініціювання фотофіксації.

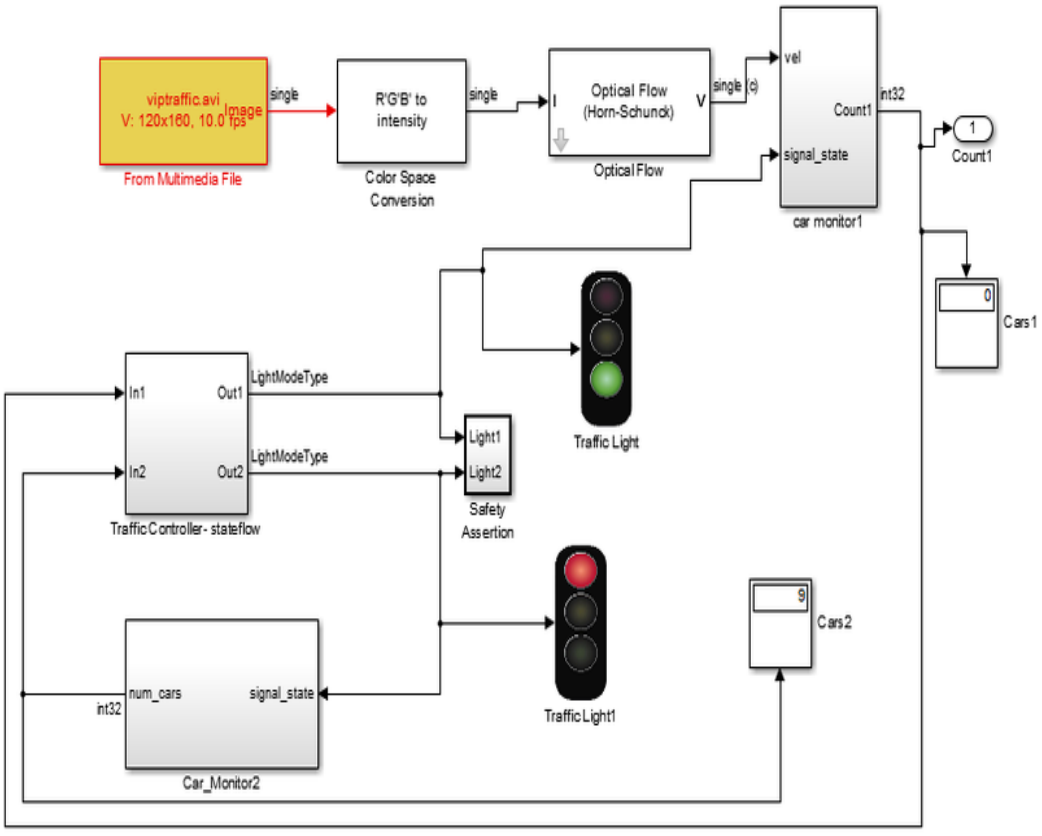


Рисунок 3.17 – Модель у середовищі Simulink для виявлення порушення ПДР «перетин перехрестя на заборонний сигнал світлофора»

Під час запуску моделі з використанням тестової відеопослідовності система формує діаграму аналізу переміщення об'єктів при активному червоному сигналі світлофора для кожного кадру. Фіолетова крива

представляє граничне значення, яке визначає тривалість перебування транспортного засобу в контрольованій зоні протягом дії заборонного сигналу. Відповідно до встановленого порогового значення детектора руху, Simulink-модель ідентифікує п'ять кадрів, де рух перевищує критичний рівень – ці кадри зафіксовані та збережені (рисунок 3.18), позначені стрілками.

Рисунок 3.18 – Виявлення та реєстрація переміщення на заборонний сигнал світлофора в Simulink-моделі відеоспостережної системи

Розроблена Simulink-модель відеоспостережної системи забезпечує автоматичне збереження на серверному обладнанні відеофіксацій порушень правил дорожнього руху, зареєстрованих камерами моніторингу. Це дозволить істотно скоротити кількість правопорушень, що, у свою чергу, сприятиме зниженню рівня травматизму та смертності на автомобільних шляхах.

ВИСНОВКИ

У представленій роботі проведено дослідження алгоритмічних рішень та технічних систем для ідентифікації реєстраційних знаків транспортних засобів-порушників ПДР. Здійснений аналіз провідних методів оптичного розпізнавання текстової інформації засвідчив, що наявні підходи до вирішення завдань високоякісного розпізнавання образів недостатньо враховують специфіку фіксації та ідентифікації текстових зображень із подальшим прийняттям управлінських рішень.

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін існуючих методів ідентифікації символьно-числової інформації обґрунтував вибір апарату штучних нейромереж, який забезпечує гнучку адаптацію до різноманітних шрифтових варіацій, що використано для розпізнавання символів автомобільних номерних знаків. У дипломному проекті детально розглянуто ключові технічні елементи системи відеомоніторингу дотримання правил дорожнього руху.

Створено алгоритм виявлення зони локалізації символів на зображеннях реєстраційних знаків, який відрізняється від існуючих аналогів використанням алгоритмічної композиції з двох згорткових нейромереж, що функціонують за принципом послідовної класифікації.

Розроблено алгоритмічне рішення для ідентифікації символів на основі нейромережевого підходу, що забезпечує розпізнавання символів без застосування процедури їх сегментації. Запропонований алгоритм характеризується високою швидкодією та значним рівнем інваріантності.

У кваліфікаційній роботі наведено структурну організацію функціонування спроектованої технічної системи, що реалізує розпізнавання автомобільних номерних знаків на основі їхніх растрових відеопредставлень.

На базі описаних алгоритмічних рішень створено програмне забезпечення у середовищі Matlab для розпізнавання автомобільних номерних знаків, яке після процедури впровадження або компіляції може

бути інтегроване до систем комп'ютерного зору для реалізації відеомоніторингу транспортних потоків.

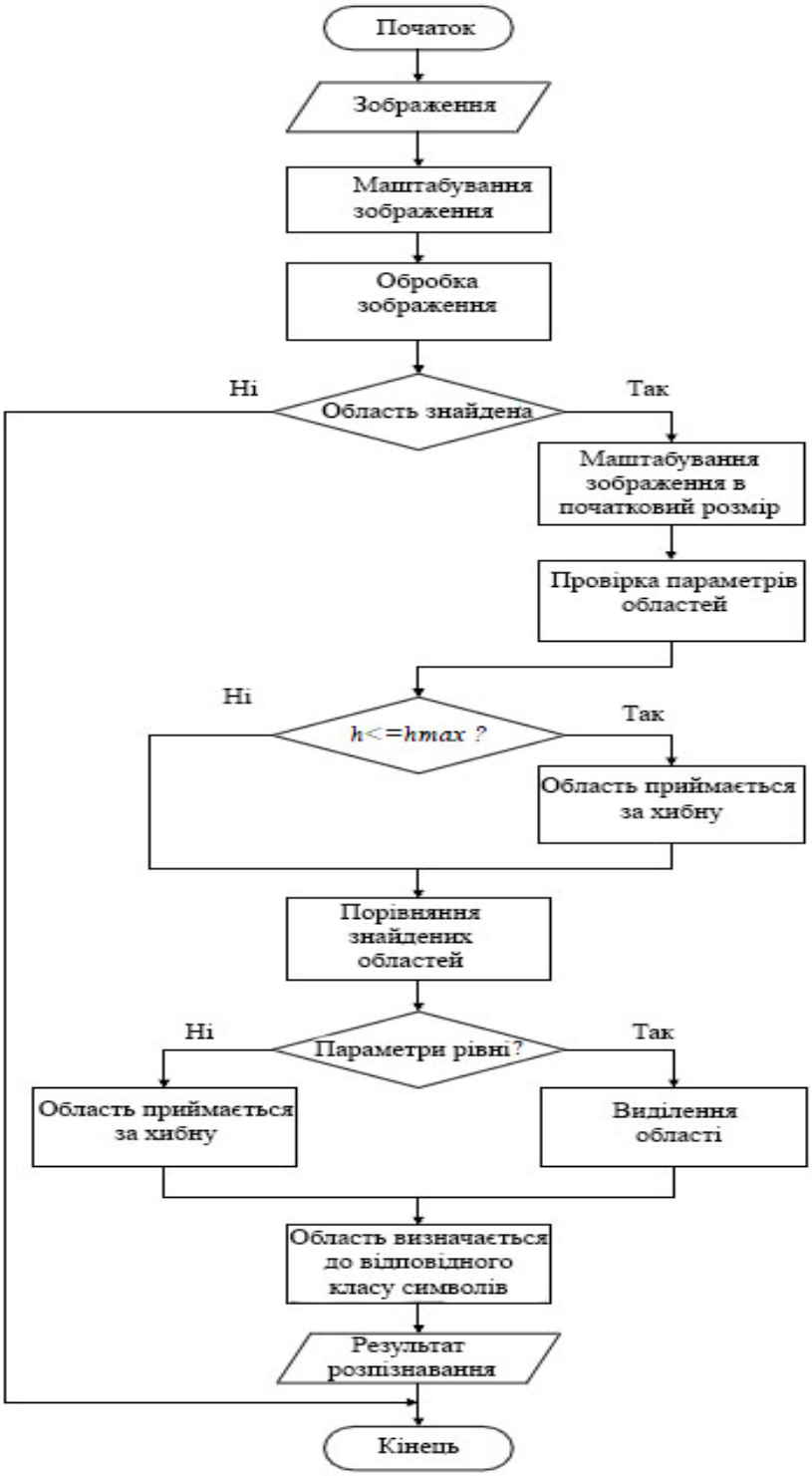
Реалізовано у програмному середовищі Simulink узагальнену модель контролю дотримання правил дорожнього руху, а також спеціалізовану модель відеореєстрації порушення ПДР у вигляді проїзду перехрестя на заборонний сигнал світлофора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний портал МВС України. Запуск системи автоматичної фіксації порушень Правил дорожнього руху [Електронний ресурс]. – Режим доступу:https://mvs.gov.ua/uk/ministry/projekti-mvs/avtofotovideofiksaciya-porusen-pdr/zapusk-sistemi-avtomaticnoyi-fiksaciyi-porusen-pravil-doroznyogo-ruxu-1
2. Національна поліція України. Автоматична система фотовідеофіксації порушень ПДР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://npu.gov.ua/news/avtomatichna-sistema-fotovideofiksatsii-porushen-pdr
3. Автофіксація порушень правил дорожнього руху / WikiLegalAid [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://legalaid.wiki/index.php/Автофіксація_порушень_правил_дорожнього_руху
4. Автоматична фіксація порушень ПДР не вплинула на кількість аварій – Opendatabot / Suspilne Media [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://suspilne.media/143542-avtomaticna-fiksacia-porusen-pdr-ne-vplinula-na-kilkist-avarij-opendatabot/
5. Національна поліція України. Автоматична система фото та відеофіксації порушень ПДР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.npu.gov.ua/gromadyanam/avtomatychna-systema-foto-ta-videofiksatsii-porushen-pdr
6. Бондар А. І**.** Система автоматичної фіксації порушень ПДР на основі комп’ютерного зору. /А. І. Бондар, М. В. Козак// *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. – 2021. – №4. – С. 45–52.
7. Марчук В. В. Архітектура інтелектуальних систем відеоспостереження дорожнього руху. /В. В. Марчук, О. Є. Лисенко// *Наукові праці ОНАХТ*. – 2020. – Т. 2. – С. 112–119.

8. Шевчук Р. М. Аналіз ефективності систем автоматичної фіксації порушень ПДР. /Р. М. Шевчук// *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. – 2019. – №1. – С. 38–44.
9. Гоменюк О. О. Методика визначення надійності систем фіксації порушень дорожнього руху. /О. О. Гоменюк// *Транспортні системи та технології*. – 2022. – №5. – С. 55–62.
10. Zhang Y. Automatic License Plate Recognition Based on Deep Learning. /Y. Zhang, L. Huang// *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 7. – P. 143 –152.
11. Wu J. Intelligent Traffic Violation Detection Using Video Analytics. /J. Wu, K. Lee// *Sensors*. – 2020. – Vol. 20(18). – P. 1–15.
12. Hsu G. S. License Plate Detection and Recognition Using Deep Convolutional Neural Networks. /G. S. Hsu, C. Y. Chen// *Pattern Recognition*. – 2021. – Vol. 113. – P. 107 –120.
13. Сеник А. І. Використання камер високої роздільності для фіксації порушень ПДР. /А. І. Сеник// *Науковий вісник НУ «Львівська політехніка»*. – 2018. – №894. – С. 83–89.
14. Савчук О. В. Алгоритми сегментації номерних знаків у системах контролю ПДР. /О. В. Савчук, В. С. Поліщук// *Проблеми інформатизації та управління*. – 2021. – №2. – С. 97–104.
15. Redmon J. YOLOv3: An Incremental Improvement. /J. Redmon, A. Farhadi// *arXiv preprint arXiv:1804.02767*. – 2018. – P. 1–10.
16. He K. Deep Residual Learning for Image Recognition. /K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun// *CVPR*. – 2016. – P. 770–778.
17. Goodfellow I. Deep Learning-Based Approaches in Traffic Monitoring Systems. /I. Goodfellow, A. Courville// *Journal of Machine Vision*. – 2020. – Vol. 15. – P. 34–47.
18. Петренко А. В. Інтелектуальні системи відеонагляду для контролю швидкості руху. /А. В. Петренко// *Системи обробки інформації*. – 2019. – №3. – С. 55–61.

19. Стахів П. В. Комп’ютерний аналіз транспортних потоків у міських мережах. /П. В. Стахів, Ю. С. Білоконь// *Вісник ТНТУ*. – 2022. – №2. – С. 44–52.
20. Li K. Real-Time Traffic Violation Detection Using Edge Computing. /K. Li, F. Sun// *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2022. – Vol. 23(11). – P. 19874–19885.
21. Nguyen T. High-Accuracy Vehicle Speed Estimation From Surveillance Video. /T. Nguyen, M. Do// *Computer Vision and Image Understanding*. – 2021. – Vol. 205. – P. 103–117.
22. Кравець С. О. Система автоматичного виявлення порушень швидкісного режиму. /С. О. Кравець// *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. – 2020. – №90. – С. 74–80.
23. Павлів М. М. Аналіз систем автоматичного зчитування номерних знаків. /М. М. Павлів// *Інформаційні системи та мережі*. – 2018. – №4. – С. 122–130.
24. Khan S. Multi-Camera Traffic Monitoring and Violation Detection. /S. Khan, R. Kumar// *International Journal of Computer Vision*. – 2020. – Vol. 128. – P. 2345–2360.
25. Rahman M. Automatic Detection of Red-Light Violations Using Computer Vision. /M. Rahman, K. Ahmed// *Transportation Research Part C*. – 2021. – Vol. 129. – P. 1–12.

ДОДАТОК А

СТРУКТУРНА ДІАГРАМА МЕТОДИКИ ДЕКОДУВАННЯ ЛІТЕРНО-ЦИФРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЄСТРАЦІЙНИХ ТАБЛИЧОК АВТОТРАНСПОРТУ