

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра електронних обчислювальних машин

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

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

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

Освітня програма Комп'ютерна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Зінченко Єлизаветі Вікторівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система ідентифікації транспортних засобів

затверджена наказом по університету від “ 05 ” травня 2025 р. № 72 СТз

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 16 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

ідентифікація даних на зображеннях

штучні нейронні мережі

генетичний алгоритм

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

Теоретичні основи комп'ютерної ідентифікації транспортних засобів

Методологія та технології розробки системи ідентифікації

Практична реалізація та тестування системи

Аналіз ефективності, безпека та перспективи розвитку системи

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій 11 слайдів

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання та аналіз літератури	05.05.2025–10.05.2025	
2	Огляд існуючих аналогів	11.05.2025–03.06.2025	
3	Вибір алгоритмів	04.06.2025–06.06.2025	
4	Вибір програмних засобів	07.06.2025–08.06.2025	
5	Програмна реалізація	09.06.2025–11.06.2025	
6	Аналіз отриманих результатів	12.06.2025–13.06.2025	
7	Оформлення записки	14.06.2025–16.06.2025	

Дата видачі завдання “ 05 ” травня 2025 р.

Здобувач


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

ст. викл. Владислав ДЯЧЕНКО

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 47 с., 9 рис., 1 дод., 15 джерел.

ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, КЛАСИФІКАЦІЯ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, НЕЧІТКА НЕЙРОННА МЕРЕЖА, КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерної системи ідентифікації транспортних засобів з використанням методів машинного навчання, зокрема нейромережевих технологій.

У ході виконання кваліфікаційної роботи розроблено програмний комплекс обробки зображень на основі нейромережевих технологій, що поєднує методи нечіткої логіки та генетичні алгоритми. Проведено детальний порівняльний аналіз наявних алгоритмів обробки візуальної інформації з використанням нечітких нейронних мереж, на основі якого здійснено обґрунтований вибір оптимального алгоритму розпізнавання для впровадження в системі.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 47 pages, 9 figures, 1 appendices, 15 sources.

GENETIC ALGORITHM, CLASSIFICATION, NEURAL NETWORK,
FUZZY NEURAL NETWORK, COMPUTER SYSTEM.

The major goal of this thesis is the development of a computer-based system for vehicle identification using machine learning methods, with a particular focus on neural network technologies.

In order to a software solution for image processing was developed based on neural network approaches that integrate fuzzy logic methods and genetic algorithms. A comprehensive comparative analysis of existing visual information processing algorithms employing fuzzy neural networks was conducted, leading to a well-founded selection of the most suitable recognition algorithm for implementation in the system.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	8
ВСТУП	9
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	11
1.1 Еволюція систем ідентифікації транспортних засобів: від аналогових до цифрових технологій	11
1.2 Класифікація методів автоматичної ідентифікації: оптичні, радіочастотні та гібридні підходи	12
1.3 Принципи функціонування алгоритмів комп'ютерного зору в автотранспортних системах	13
1.4 Математичні моделі та алгоритмічні основи систем розпізнавання	14
1.5 Архітектурні парадигми та топологічні рішення для розподілених систем ідентифікації	15
2 МЕТОДОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ	17
2.1 Сучасні алгоритми машинного навчання та їх адаптація до завдань ідентифікації	17
2.2 Технології обробки цифрових зображень та відеопотоків у реальному часі	18
2.3 Методи виділення та класифікації ключових ознак транспортних засобів	20
2.4 Технології інтеграції та синхронізації даних з гетерогенних джерел	21
2.5 Методології забезпечення якості та надійності алгоритмів розпізнавання	22
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ	24

3.1	Проектування архітектури програмного забезпечення та вибір технологічного стеку	24
3.2	Розробка та оптимізація модулів обробки зображень з використанням генетичних алгоритмів	25
3.3	Реалізація модулів розпізнавання та класифікації транспортних засобів.....	26
3.4	Розробка інтерфейсів користувача та систем візуалізації	27
3.5	Комплексне тестування продуктивності та валідація результатів	29
3.6	Стратегії впровадження та експлуатаційної підтримки.....	31
4	АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ, БЕЗПЕКА ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ.....	32
4.1	Економічний аналіз ефективності впровадження систем ідентифікації	32
4.2	Інформаційна безпека та захист персональних даних	33
4.3	Правові аспекти та нормативне регулювання.....	34
4.4	Соціальні наслідки та етичні аспекти використання технологій розпізнавання.....	34
4.5	Перспективи технологічного розвитку та інновації.....	35
4.6	Інтеграція з екосистемами розумних міст та Інтернету речей.....	36
	ВИСНОВКИ.....	38
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	39
	ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	41

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ОС – операційна система

ПЗ – програмні засоби

ПС – природна імунна система

ШІС – штучна імунна система

ШНМ – штучна нейронна мережа

ВСТУП

Сучасні напрями наукових досліджень у сфері нейробіонічного та еволюційного моделювання демонструють зростаючий інтерес до поєднання методів нечіткої логіки з генетичними алгоритмами. Такий інтегративний підхід відкриває нові перспективи у вирішенні слабоформалізованих задач, що виникають в умовах високої невизначеності. На цій основі сформувалися складні гібридні системи – нечітко-генетичні, нейрогенетичні та нейро-нечітко-генетичні – які стали ефективним інструментом для побудови інтелектуальних програмних рішень.

У даній роботі поставлено завдання створення програмних засобів для ідентифікації об'єктів на зображеннях із використанням нейро-нечітко-генетичних алгоритмів. З огляду на стрімке зростання обсягу візуальних даних, що надходять з різних типів відеопристроїв, актуальність задачі автоматизованої ідентифікації суттєво зросла. Одними з основних критеріїв ефективності таких систем є швидкість зчитування інформації та якість її розпізнавання, особливо в умовах часових обмежень. Зокрема, завдання розпізнавання рукописного тексту, державних номерних знаків транспортних засобів або ідентифікації осіб потребують високотехнологічних рішень із точною та оперативною обробкою.

Автоматизація цього процесу передбачає створення програмно-апаратного комплексу, здатного не лише розпізнавати об'єкти на зображеннях, а й здійснювати їх подальшу обробку. Центральною складовою таких систем є технології розпізнавання образів, серед яких штучні нейронні мережі визнані найефективнішими інструментами. У якості методу навчання нейронних мереж перевага надається генетичним алгоритмам, які дозволяють здійснювати паралельний пошук оптимальних параметрів, що значно підвищує продуктивність навчання.

Сучасні дослідження демонструють широкий спектр архітектур

штучних нейронних мереж, зокрема нечіткі нейронні моделі, які характеризуються підвищеною точністю в розпізнаванні візуальних образів, особливо у випадках обробки зашумлених даних. Саме такі мережі становлять основу для реалізації інтелектуальних систем обробки зображень.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерної системи ідентифікації транспортних засобів з використанням методів машинного навчання, зокрема нейромережових технологій.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Еволюція систем ідентифікації транспортних засобів: від аналогових до цифрових технологій

Історичний розвиток систем ідентифікації транспортних засобів відображає загальні тенденції цифрової трансформації суспільства та стрімкий прогрес у сфері інформаційних технологій. Початкові системи ідентифікації базувалися на простих механічних пристроях та візуальному спостереженні, що характеризувалися низькою ефективністю та значною залежністю від людського фактора. Перехід до аналогових електронних систем у середині двадцятого століття ознаменував перший етап автоматизації процесів ідентифікації, однак обмежені можливості обробки та зберігання інформації не дозволяли створювати масштабні інтегровані рішення.

Революційні зміни відбулися з появою цифрових технологій та розвитком обчислювальної техніки, що створило передумови для формування сучасних підходів до автоматичної ідентифікації транспортних засобів. Впровадження мікропроцесорних систем дозволило реалізувати складні алгоритми обробки сигналів та створити перші системи автоматичного розпізнавання номерних знаків. Розвиток цифрової фотографії та відеотехнології відкрив нові можливості для створення систем, здатних працювати з візуальною інформацією високої якості.

Сучасний етап розвитку характеризується інтеграцією технологій штучного інтелекту, машинного навчання та комп'ютерного зору, що дозволяє створювати системи з принципово новими можливостями. Використання хмарних обчислень та технологій Інтернету речей відкриває перспективи для створення глобальних розподілених систем ідентифікації,

здатних обробляти величезні обсяги інформації та забезпечувати міжнародну взаємодію різних транспортних систем.

1.2 Класифікація методів автоматичної ідентифікації: оптичні, радіочастотні та гібридні підходи

Систематизація існуючих методів автоматичної ідентифікації транспортних засобів дозволяє виділити три основні категорії технологій, кожна з яких має свої переваги та сфери застосування. Оптичні методи ідентифікації базуються на обробці візуальної інформації, отриманої за допомогою камер та інших оптичних сенсорів. Ці технології включають системи розпізнавання номерних знаків, аналіз силуетів транспортних засобів, розпізнавання характерних візуальних ознак та біометричну ідентифікацію на основі унікальних особливостей зовнішнього вигляду. Головною перевагою оптичних методів є висока інформативність та можливість ідентифікації без попередньої підготовки транспортних засобів.

Радіочастотні методи ідентифікації використовують електромагнітні сигнали для передачі ідентифікаційної інформації між транспортним засобом та системою моніторингу. До цієї категорії належать технології RFID, системи GPS-моніторингу, технології ближнього поля та спеціалізовані транспондерні системи. Радіочастотні методи характеризуються високою надійністю та стабільністю роботи в різних погодних умовах, однак вимагають попередньої установки спеціального обладнання на транспортні засоби. Дальність дії та пропускна здатність таких систем залежать від використовуваних частотних діапазонів та потужності передавачів.

Гібридні підходи поєднують переваги різних технологій ідентифікації, створюючи багаторівневі системи з підвищеною надійністю та функціональністю. Інтеграція оптичних та радіочастотних методів дозволяє забезпечити резервування каналів ідентифікації та взаємну верифікацію результатів. Використання множинних сенсорів різних типів підвищує

точність ідентифікації та розширює спектр умов, в яких система може ефективно функціонувати. Застосування технологій сенсорного злиття дозволяє оптимально комбінувати інформацію з різних джерел для отримання найбільш достовірного результату ідентифікації.

1.3 Принципи функціонування алгоритмів комп'ютерного зору в автотранспортних системах

Теоретичні основи комп'ютерного зору в контексті транспортних систем базуються на фундаментальних принципах обробки цифрових зображень та розпізнавання образів. Процес аналізу візуальної інформації включає послідовність етапів, починаючи від захоплення зображення оптичними сенсорами та закінчуючи інтерпретацією виявлених об'єктів і прийняттям рішень щодо їх ідентифікації. Математичні моделі, що лежать в основі алгоритмів комп'ютерного зору, використовують апарат лінійної алгебри, теорії ймовірностей та математичної статистики для формалізації процесів розпізнавання та класифікації.

Алгоритми виявлення об'єктів на зображеннях транспортних сцен повинні враховувати специфічні особливості автомобільного середовища, включаючи динамічність сцени, наявність множинних об'єктів, змінні умови освітлення та можливість часткового перекриття транспортних засобів. Застосування методів морфологічної обробки зображень дозволяє виділяти контури об'єктів та усувати шуми, що виникають через недосконалість оптичних систем. Техніки сегментації зображень, включаючи порогову обробку, кластеризацію та методи активних контурів, забезпечують точне виділення областей інтересу.

Розвиток теорії глибокого навчання привніс революційні зміни в методологію комп'ютерного зору, дозволивши створювати системи, здатні автоматично навчатися виявляти складні візуальні закономірності. Згорткові нейронні мережі використовують ієрархічну структуру для поступового

виділення ознак різного рівня складності, від простих геометричних примітивів до складних семантичних понять. Механізми уваги дозволяють алгоритмам фокусуватися на найбільш інформативних частинах зображення, підвищуючи ефективність обробки та точність розпізнавання.

1.4 Математичні моделі та алгоритмічні основи систем розпізнавання

Математичний апарат систем розпізнавання транспортних засобів включає комплекс моделей та алгоритмів, що забезпечують формалізацію процесів ідентифікації та класифікації. Статистичні моделі розпізнавання базуються на теорії байєсівського висновку, що дозволяє оптимально поєднувати апріорні знання про характеристики транспортних засобів з інформацією, отриманою з сенсорів. Використання скритих марковських моделей дозволяє враховувати темпоральні залежності в послідовностях спостережень, що особливо важливо для трекінгу рухомих об'єктів.

Геометричні моделі представлення транспортних засобів використовують параметричні та непараметричні описи форми для створення еталонних шаблонів. Застосування методів диференціальної геометрії дозволяє аналізувати кривизну контурів та виділяти інваріантні геометричні характеристики, що залишаються стабільними при зміні ракурсу зйомки або масштабу зображення. Проективні перетворення використовуються для корекції геометричних спотворень, що виникають через особливості розташування камер та оптичних систем.

Оптимізаційні алгоритми відіграють ключову роль у налаштуванні параметрів моделей розпізнавання та пошуку оптимальних рішень в умовах невизначеності. Градієнтні методи оптимізації використовуються для навчання нейронних мереж, забезпечуючи мінімізацію функцій втрат та покращення якості розпізнавання. Еволюційні алгоритми застосовуються для оптимізації архітектури нейронних мереж та пошуку оптимальних гіперпараметрів. Методи ансамблевого навчання дозволяють поєднувати

результати різних алгоритмів для підвищення загальної точності та надійності системи.

1.5 Архітектурні парадигми та топологічні рішення для розподілених систем ідентифікації

Проектування архітектури розподілених систем ідентифікації транспортних засобів вимагає врахування множини факторів, включаючи масштабність системи, географічне розподілення компонентів, вимоги до латентності та пропускної здатності. Централізована архітектура характеризується наявністю єдиного центру обробки даних, що забезпечує централізований контроль та управління всіма компонентами системи. Така архітектура ефективна для систем середнього масштабу, але може стикатися з обмеженнями пропускної здатності та створювати єдину точку відмови для всієї системи.

Децентралізована архітектура розподіляє функції обробки та прийняття рішень між множинними вузлами, що підвищує відмовостійкість та масштабованість системи. Використання технологій blockchain та розподілених реєстрів дозволяє створювати системи з підвищеним рівнем безпеки та прозорості, що особливо важливо для міжнародних транспортних систем. Peer-to-peer архітектура забезпечує максимальну автономність окремих компонентів та можливість функціонування навіть при частковій втраті зв'язку з іншими вузлами мережі.

Гібридні архітектурні рішення поєднують переваги різних підходів, створюючи ієрархічні системи з багаторівневою обробкою даних. Edge computing дозволяє розміщувати обчислювальні ресурси близько до джерел даних, мінімізуючи затримки та зменшуючи навантаження на мережеву інфраструктуру. Fog computing створює проміжний рівень між локальними сенсорами та хмарними сервісами, забезпечуючи оптимальний баланс між продуктивністю та витратами на інфраструктуру. Мікросервісна архітектура

дозволяє розбивати складні системи на незалежні компоненти, що спрощує розробку, тестування та подальшу підтримку системи.

2 МЕТОДОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

2.1 Сучасні алгоритми машинного навчання та їх адаптація до завдань ідентифікації

Застосування алгоритмів машинного навчання в системах ідентифікації транспортних засобів представляє собою складну методологічну задачу, що вимагає глибокого розуміння як теоретичних основ, так і практичних аспектів реалізації. Контрольоване навчання з учителем використовується для створення класифікаторів, здатних розрізняти різні типи транспортних засобів на основі навчальних даних з відомими мітками.



Рисунок 2.1 – Алгоритм попередньої обробки зображення

Алгоритми опорних векторів демонструють високу ефективність при роботі з високорозмірними просторами ознак, що характерно для задач

обробки зображень. Застосування ядерних методів дозволяє відобразити вхідні дані у простори вищої розмірності, де лінійна сепарабельність класів стає більш вираженою.

Ансамблеві методи, включаючи випадковий ліс та градієнтний бустинг, забезпечують підвищену стабільність та точність розпізнавання за рахунок комбінування результатів множинних базових алгоритмів. Техніки бегінгу та бустингу дозволяють зменшити дисперсію та зміщення оцінок, що критично важливо для забезпечення надійної роботи в реальних умовах експлуатації. Застосування крос-валідації та методів регуляризації запобігає перенавчанню моделей та забезпечує їх здатність до узагальнення на нових даних.

Глибоке навчання революціонізувало підходи до розв'язання задач комп'ютерного зору, дозволивши створювати моделі, здатні автоматично виявляти ієрархічні представлення ознак. Згорткові нейронні мережі використовують локальну зв'язність та розподілення параметрів для ефективної обробки просторових структур зображень. Архітектури ResNet та DenseNet вирішують проблему зникаючого градієнта, дозволяючи навчати надглибокі мережі з сотнями шарів. Трансформерні архітектури, спочатку розроблені для обробки природної мови, знаходять застосування в задачах комп'ютерного зору, демонструючи нові можливості для моделювання довгострокових залежностей у візуальних даних.

2.2 Технології обробки цифрових зображень та відеопотоків у реальному часі

Обробка цифрових зображень у системах ідентифікації транспортних засобів вимагає спеціалізованих технологій, адаптованих до специфіки транспортного середовища та вимог роботи в реальному часі. Попередня обробка зображень включає комплекс операцій, спрямованих на покращення якості вхідних даних та усунення артефактів, що можуть негативно вплинути на точність подальшого аналізу. Адаптивна корекція освітлення

використовує локальні гістограми для нормалізації яскравості в різних частинах зображення, що особливо важливо при роботі в умовах нерівномірного освітлення або контрового світла.

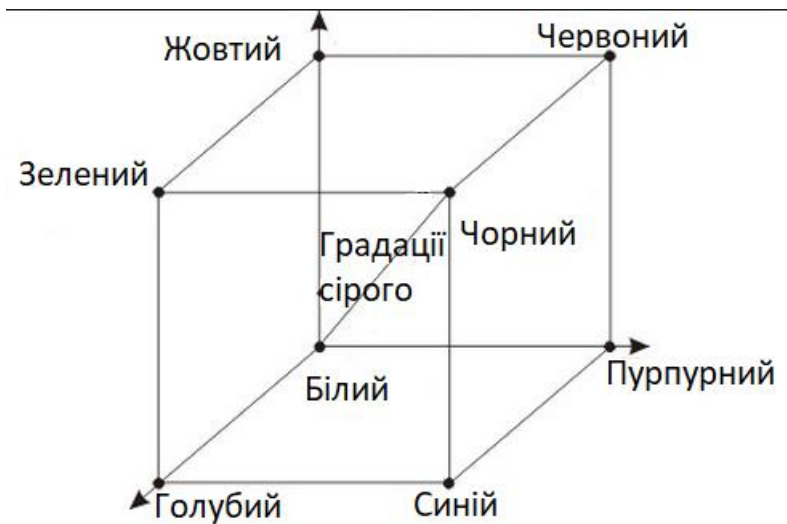


Рисунок 2.2 – Модель RGB

Методи шумозаглушення базуються на статистичних моделях шуму та використовують просторово-частотні фільтри для відновлення корисного сигналу. Застосування вейвлет-перетворення дозволяє ефективно розділяти сигнал та шум у частотній області, забезпечуючи високу якість відновлення деталей зображення. Морфологічні операції використовуються для обробки бінарних зображень, дозволяючи усувати дрібні артефакти та заповнювати розриви в контурах об'єктів.

Обробка відеопотоків вимагає врахування темпоральних залежностей між послідовними кадрами для забезпечення стабільності детекції та трекінгу об'єктів. Алгоритми оптичного потоку дозволяють оцінювати рух об'єктів між кадрами, що використовується для передбачення положення транспортних засобів та компенсації руху камери. Техніки компенсації руху фону забезпечують стабільність детекції навіть при вібраціях або переміщеннях камери спостереження. Застосування калманівської фільтрації дозволяє оптимально поєднувати спостереження з різних моментів часу для отримання точних оцінок траєкторій руху.

2.3 Методи виділення та класифікації ключових ознак транспортних засобів

Ефективна ідентифікація транспортних засобів базується на виділенні та аналізі характерних ознак, що дозволяють відрізнити різні типи та моделі автомобілів. Геометричні ознаки включають параметри форми, розміри, пропорції та контурні характеристики транспортних засобів. Аналіз силуетів використовує методи дескрипторів форми, включаючи дескриптори Фур'є, моменти Ху та дескриптори кривизни контуру. Ці характеристики володіють властивостями інваріантності до поворотів, масштабування та паралельних зсувів, що робить їх стійкими до змін ракурсу зйомки.

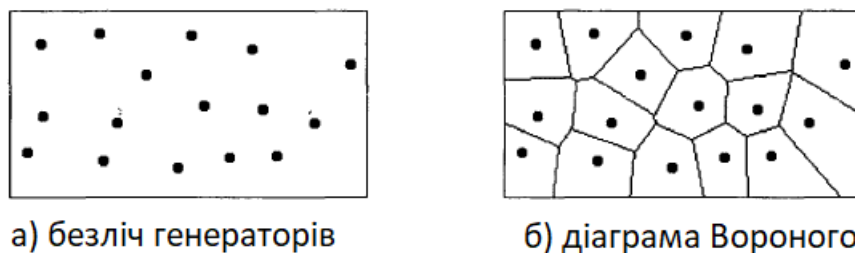


Рисунок 2.3 – Безліч генераторів і діаграма Вороного

Текстурні ознаки характеризують мікроструктуру поверхонь транспортних засобів та дозволяють розрізнити матеріали і типи покриттів. Матриці співвіднесення сірих рівнів забезпечують статистичний опис текстурних властивостей, включаючи контраст, однорідність, ентропію та кореляцію. Локальні бінарні шаблони створюють гістографічні описи текстур, що характеризуються стійкістю до змін освітлення та обчислювальною ефективністю. Фільтри Габора дозволяють аналізувати текстури в різних масштабах та орієнтаціях, забезпечуючи багатомасштабний опис візуальних характеристик.

Колірні ознаки відіграють важливу роль у розрізненні транспортних засобів, особливо при роботі з високоякісними зображеннями. Використання

різних кольірних просторів, включаючи RGB, HSV, Lab та інші, дозволяє оптимально представляти кольірну інформацію залежно від умов освітлення та характеристик камери. Колірні гістограми забезпечують статистичний опис розподілу кольорів, а кольірні моменти характеризують основні статистичні властивості кольірних розподілів. Застосування методів кольірної сегментації дозволяє виділяти однорідні за кольором області та ідентифікувати характерні кольірні схеми різних моделей автомобілів.

2.4 Технології інтеграції та синхронізації даних з гетерогенних джерел

Сучасні системи ідентифікації транспортних засобів повинні забезпечувати ефективну інтеграцію інформації з різноманітних джерел, включаючи стаціонарні та мобільні камери, радарні системи, інфрачервоні сенсори та зовнішні бази даних.

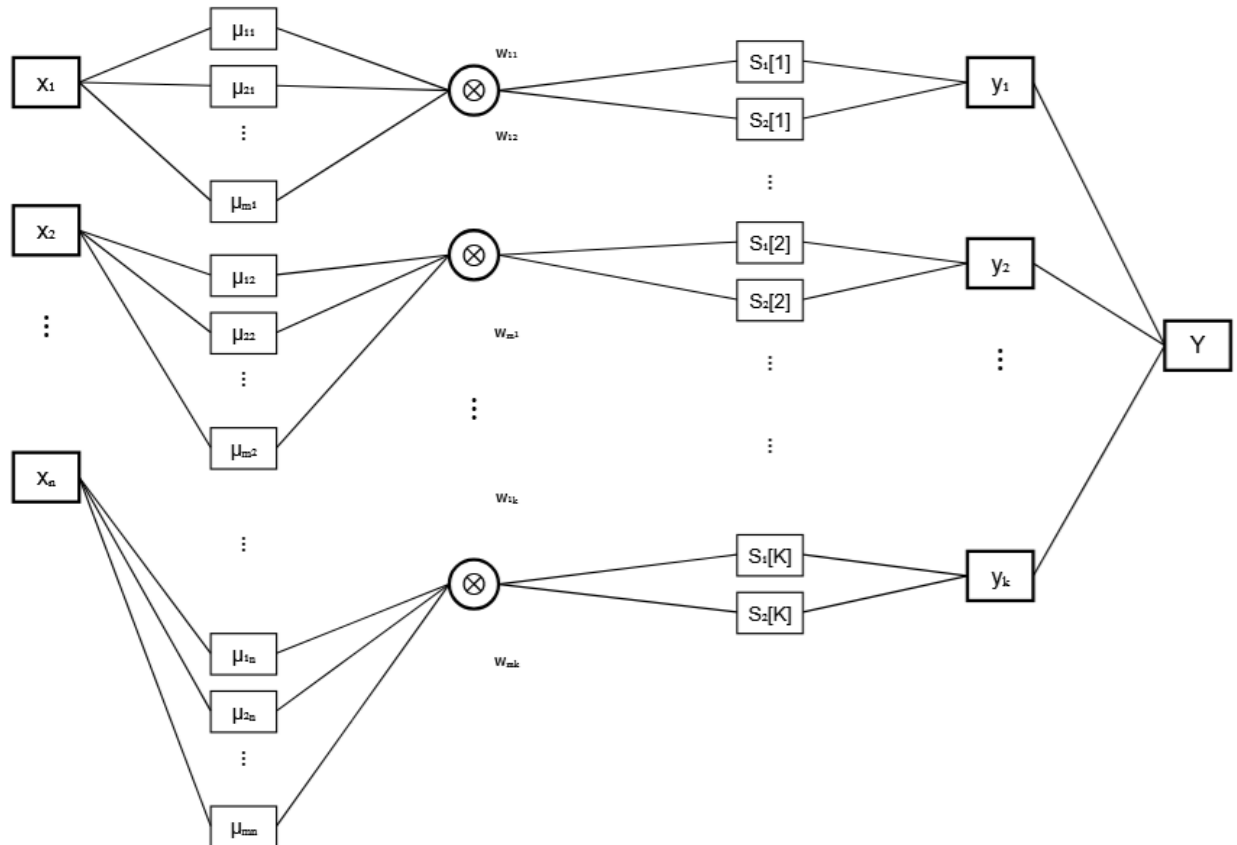


Рисунок 2.4 – Структура мережі Ванга – Менделя

Процес інтеграції даних включає вирішення проблем гетерогенності форматів, різних протоколів передачі та асинхронності надходження інформації. Використання стандартизованих форматів обміну даними, таких як JSON, XML або специфічних протоколів для транспортних систем, забезпечує сумісність між різними компонентами системи.

Синхронізація часових міток є критично важливою для забезпечення коректної кореляції подій з різних сенсорів. Протокол мережевого часу забезпечує високоточну синхронізацію годинників різних пристроїв, що дозволяє відтворювати точну хронологію подій. Буферизація даних використовується для компенсації затримок передачі та обробки, забезпечуючи можливість синхронного аналізу інформації з різних джерел. Алгоритми інтерполяції дозволяють відновлювати відсутні дані в випадку тимчасових збоїв або неповних спостережень.

Технології потокової обробки даних забезпечують обробку інформації в реальному часі без накопичення затримок. Apache Kafka та інші системи черг повідомлень дозволяють будувати масштабовані системи обробки потоків з гарантованою доставкою та можливістю горизонтального масштабування. Застосування подієво-орієнтованої архітектури дозволяє створювати слабо зв'язані системи, де зміни в одних компонентах не впливають на роботу інших. Методи сенсорного злиття використовують статистичні та ймовірнісні підходи для оптимального поєднання інформації з різних джерел, враховуючи надійність та точність кожного сенсора.

2.5 Методології забезпечення якості та надійності алгоритмів розпізнавання

Забезпечення високої якості та надійності алгоритмів розпізнавання є фундаментальною вимогою для практичного застосування систем ідентифікації транспортних засобів. Методологія валідації включає комплекс

процедур для об'єктивної оцінки продуктивності алгоритмів на репрезентативних наборах даних. Крос-валідація забезпечує незалежну оцінку якості моделей шляхом багаторазового розбиття даних на навчальні та тестові підмножини. Стратифікована вибірка гарантує збалансоване представлення всіх класів об'єктів у тестових наборах, що особливо важливо при роботі з несбалансованими даними.

Метрики якості повинні всебічно характеризувати продуктивність системи з урахуванням специфіки завдання ідентифікації. Окрім традиційних метрик точності та повноти, використовуються спеціалізовані показники, такі як середня точність при різних порогах, площа під ROC-кривою та F-міра з різними вагами. Часові характеристики, включаючи латентність обробки та пропускну здатність, є критично важливими для систем реального часу. Аналіз помилок дозволяє ідентифікувати типові сценарії збоїв та розробляти методи їх усунення.

Забезпечення надійності включає розробку механізмів виявлення та обробки аномальних ситуацій. Статистичні методи контролю якості дозволяють автоматично виявляти деградацію продуктивності системи та сигналізувати про необхідність корекційних дій. Техніки ансамблевого навчання підвищують робастність системи за рахунок усереднення помилок окремих алгоритмів. Методи активного навчання дозволяють автоматично ідентифікувати найбільш інформативні приклади для поповнення навчальних наборів та покращення якості моделей. Застосування принципів оборонного програмування забезпечує стійкість системи до некоректних вхідних даних та несподіваних умов експлуатації.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Проектування архітектури програмного забезпечення та вибір технологічного стеку

Архітектурне проектування системи ідентифікації транспортних засобів починається з детального аналізу функціональних та нефункціональних вимог, що визначають основні принципи побудови програмного забезпечення. Мікросервісна архітектура забезпечує модульність та масштабованість системи, дозволяючи незалежно розвивати, тестувати та розгортати окремі компоненти. Кожен мікросервіс відповідає за конкретну функціональність, таку як захоплення зображень, детекція об'єктів, класифікація або управління базами даних, що спрощує розробку та підтримку системи.

Вибір технологічного стеку здійснюється на основі аналізу вимог до продуктивності, масштабованості, доступності інструментів розробки та екосистеми бібліотек. Для компонентів машинного навчання Python залишається провідним вибором завдяки багатому набору спеціалізованих бібліотек, включаючи TensorFlow, PyTorch, scikit-learn та OpenCV. Високопродуктивні компоненти обробки відеопотоків можуть бути реалізовані на C++ з використанням оптимізованих бібліотек, таких як Intel OpenVINO або NVIDIA TensorRT для прискорення інференсу нейронних мереж.

Контейнеризація з використанням Docker забезпечує консистентність середовища виконання та спрощує процеси розгортання в різних інфраструктурних середовищах. Kubernetes використовується для оркестрації контейнерів, забезпечуючи автоматичне масштабування, балансування навантаження та відновлення після збоїв. Системи моніторингу та логування, такі як Prometheus та ELK stack, забезпечують спостереження за станом

системи та збір діагностичної інформації. Використання Infrastructure as Code дозволяє автоматизувати процеси розгортання та забезпечувати версійний контроль інфраструктурних конфігурацій.

3.2 Розробка та оптимізація модулів обробки зображень з використанням генетичних алгоритмів

Модуль обробки зображень є центральним компонентом системи ідентифікації, відповідаючи за перетворення вхідних візуальних даних у структуровану інформацію, придатну для подальшого аналізу. Архітектура модуля базується на пайплайні обробки, що включає етапи препроцесингу, детекції, екстракції ознак та постпроцесингу. Кожен етап оптимізується для забезпечення максимальної точності при мінімальних обчислювальних витратах, що критично важливо для роботи в реальному часі.

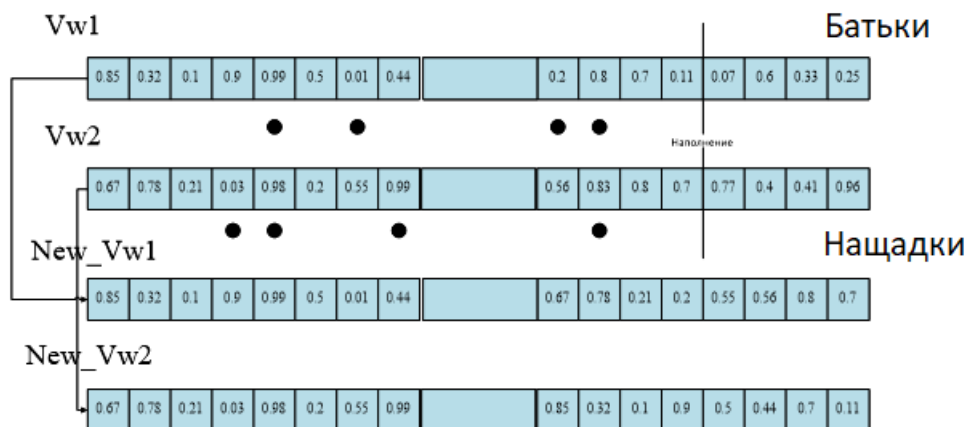


Рисунок 3.1 – Підпорядкований кросинговер

Препроцесинг зображень включає операції нормалізації розмірів, корекції колірного балансу та усунення шумів. Адаптивні алгоритми автоматично налаштовують параметри обробки залежно від характеристик конкретного зображення, використовуючи статистичний аналіз гістограм та локальних характеристик. Застосування GPU-прискорення дозволяє ефективно обробляти високорозширені зображення та відеопотоки,

використовуючи паралельну природу графічних процесорів.

Модуль детекції реалізує сучасні архітектури нейронних мереж, адаптовані для специфічних умов транспортних сцен. Оптимізація моделей включає техніки квантизації, що дозволяють зменшити розмір моделей та прискорити інференс без значної втрати точності. Застосування техніки knowledge distillation дозволяє перенести знання з великих моделей-вчителів у компактні моделі-учні, зберігаючи високу якість розпізнавання при зменшених обчислювальних вимогах. Динамічна оптимізація включає адаптивний вибір алгоритмів залежно від поточного навантаження системи та характеристик вхідних даних.

3.3 Реалізація модулів розпізнавання та класифікації транспортних засобів

Модуль розпізнавання та класифікації транспортних засобів інтегрує передові алгоритми машинного навчання для забезпечення точної ідентифікації об'єктів на транспортних сценах. Архітектура модуля включає компоненти детекції, що відповідають за локалізацію транспортних засобів на зображенні, та компоненти класифікації, що визначають тип, модель та інші характеристики виявлених об'єктів. Використання каскадної архітектури дозволяє поетапно уточнювати результати, від грубої детекції до детальної класифікації.

Ансамблеві методи поєднують результати різних алгоритмів для підвищення загальної точності та надійності системи. Голосування більшості, зважене усереднення та стекінг використовуються для оптимального комбінування предсказань окремих моделей. Динамічний вибір моделей дозволяє адаптувати поведінку системи до поточних умов, використовуючи найбільш підходящі алгоритми для конкретних сценаріїв.

Система навчання та адаптації забезпечує безперервне покращення якості розпізнавання за рахунок інкрементального навчання на нових даних.



Рисунок 3.2 – Загальна схема використовуваного генетичного методу

Активне навчання автоматично ідентифікує найбільш інформативні приклади для поповнення навчальних наборів. Федеративне навчання дозволяє покращувати моделі за рахунок даних з різних джерел без централізованого збору інформації. Техніки трансферного навчання використовуються для адаптації попередньо навчених моделей до специфічних умов експлуатації конкретної системи.

3.4 Розробка інтерфейсів користувача та систем візуалізації

Проектування інтерфейсів користувача для систем ідентифікації транспортних засобів вимагає врахування потреб різних категорій користувачів, від операторів систем моніторингу до аналітиків та керівників. Веб-інтерфейс забезпечує централізований доступ до функціональності системи через стандартні браузері, використовуючи адаптивний дизайн для підтримки різних пристроїв та розмірів екранів. Застосування сучасних фреймворків, таких як React або Vue.js, забезпечує інтерактивність та швидкість відгуку інтерфейсу.

Системи візуалізації даних дозволяють ефективно представляти великі обсяги інформації про транспортні потоки, статистику розпізнавання та результати аналізу. Інтерактивні карти забезпечують географічну візуалізацію розташування камер та траєкторій руху транспортних засобів. Діаграми та графіки в реальному часі відображають ключові показники продуктивності системи та тенденції транспортних потоків. Використання технологій WebGL дозволяє створювати високопродуктивні 3D-візуалізації для представлення складних просторових даних.

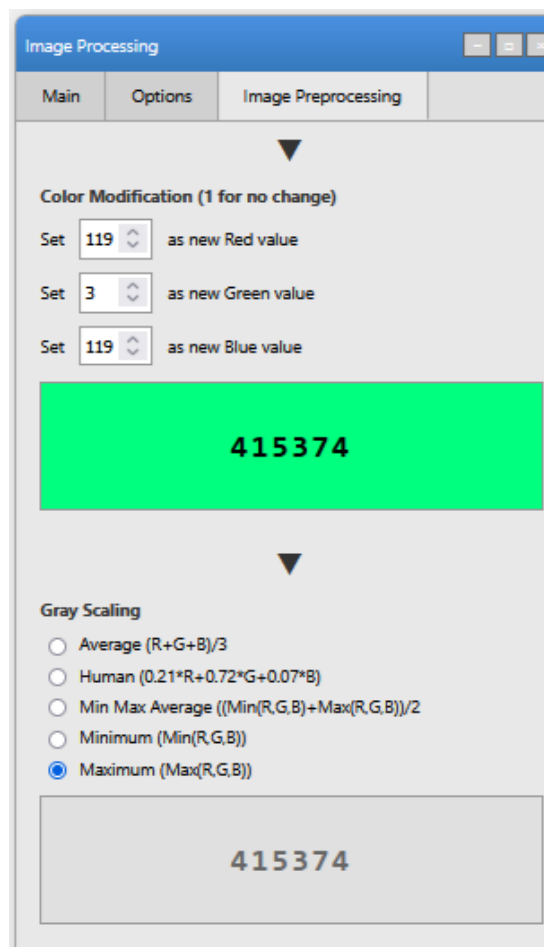


Рисунок 3.3 – Інтерфейс

Система сповіщень та алертів забезпечує своєчасне інформування користувачів про критичні події та аномалії в роботі системи. Багаторівневі сповіщення дозволяють налаштувати різні типи повідомлень залежно від важливості подій. Інтеграція з мобільними додатками забезпечує доступ до

ключової інформації в будь-який час та в будь-якому місці.

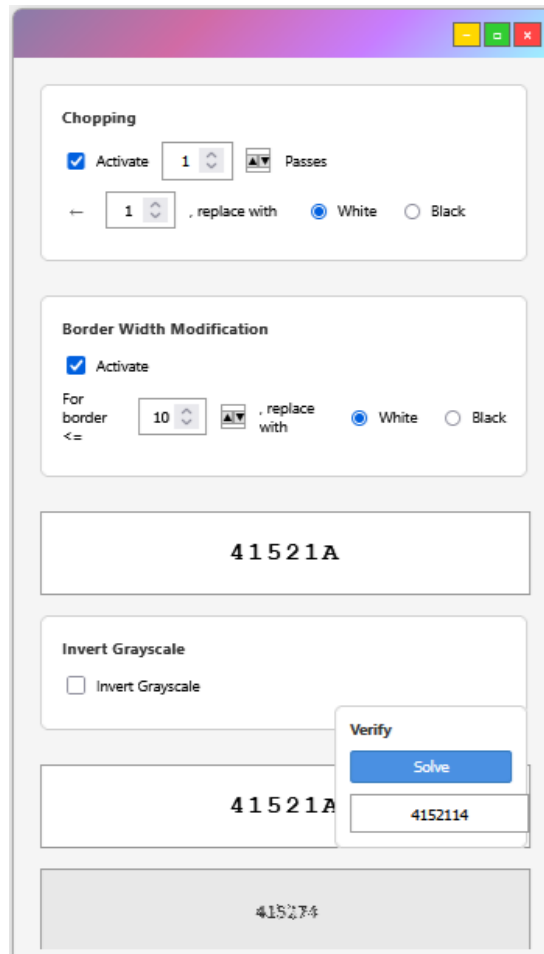


Рисунок 3.4 – Інтерфейс

Система прав доступу забезпечує інформаційну безпеку та розмежування доступу до різних функцій залежно від ролі користувача.

3.5 Комплексне тестування продуктивності та валідація результатів

Методологія комплексного тестування системи ідентифікації транспортних засобів включає багаторівневий підхід до оцінки функціональних та нефункціональних характеристик. Модульне тестування забезпечує верифікацію коректності роботи окремих компонентів системи, включаючи алгоритми обробки зображень, методи класифікації та процедури

інтеграції даних. Автоматизовані тести покривають критичні сценарії використання та граничні випадки, забезпечуючи стабільність роботи в різних умовах.

Pixel Range	Percentage of Pixels	Change
0 ~ 12		<input checked="" type="radio"/> White
13 ~ 25		<input checked="" type="radio"/> White
26 ~ 38		<input checked="" type="radio"/> White
39 ~ 51		<input checked="" type="radio"/> White
52 ~ 64		<input checked="" type="radio"/> White
65 ~ 77		<input checked="" type="radio"/> White
78 ~ 90		<input checked="" type="radio"/> White
91 ~ 103		<input checked="" type="radio"/> White
104 ~ 116		<input checked="" type="radio"/> White
117 ~ 129		<input checked="" type="radio"/> White
130 ~ 142		<input checked="" type="radio"/> White
143 ~ 155		<input checked="" type="radio"/> White
156 ~ 168		<input checked="" type="radio"/> White

Рисунок 3.5 – Результати роботи

Тестування продуктивності включає оцінку швидкості обробки, пропускної здатності та використання ресурсів при різних рівнях навантаження. Навантажувальні тести симулюють роботу системи в умовах пікового трафіку, дозволяючи ідентифікувати вузькі місця та оптимізувати архітектуру. Стрес-тестування визначає граничні можливості системи та поведінку при перевищенні номінальних параметрів. Тестування відмовостійкості перевіряє здатність системи відновлюватися після збоїв та продовжувати роботу в умовах часткових відмов компонентів.

Валідація точності розпізнавання здійснюється на репрезентативних наборах даних, що включають зображення транспортних засобів, отримані в різних умовах експлуатації. Створення збалансованих тестових вибірок забезпечує об'єктивну оцінку якості для всіх типів транспортних засобів та сценаріїв використання. Порівняльний аналіз з існуючими рішеннями демонструє переваги розробленої системи. Аналіз помилок дозволяє ідентифікувати типові сценарії збоїв та розробляти методи їх усунення. Довгострокове тестування оцінює стабільність роботи системи протягом

тривалих періодів експлуатації.

3.6 Стратегії впровадження та експлуатаційної підтримки

Планування впровадження системи ідентифікації транспортних засобів включає розробку детальної стратегії поетапного розгортання з мінімізацією ризиків та забезпеченням безперервності послуг. Пілотне впровадження на обмеженій ділянці дозволяє верифікувати працездатність системи в реальних умовах та внести необхідні корекції перед масштабним розгортанням. Паралельна робота старої та нової систем забезпечує можливість порівняння результатів та поступового переходу без втрати функціональності.

Міграція даних вимагає ретельного планування для забезпечення цілісності та доступності історичної інформації. Автоматизовані процедури перевірки цілісності даних гарантують коректність перенесення інформації з існуючих систем. Резервне копіювання та процедури відновлення забезпечують захист від втрати даних під час процесу міграції. Синхронізація з зовнішніми системами налаштовується для забезпечення інтеграції з існуючою інфраструктурою організації.

Експлуатаційна підтримка включає комплекс заходів для забезпечення стабільної роботи системи протягом усього життєвого циклу. Системи моніторингу безперервно відстежують ключові показники продуктивності та автоматично сигналізують про потенційні проблеми. Профілактичне обслуговування включає регулярне оновлення програмного забезпечення, очищення логів та оптимізацію баз даних. Технічна підтримка забезпечує швидке вирішення інцидентів та консультації користувачів. Планування розвитку системи включає аналіз нових вимог та розробку стратегії еволюції функціональності відповідно до змінних потреб організації.

4 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ, БЕЗПЕКА ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ

4.1 Економічний аналіз ефективності впровадження систем ідентифікації

Економічна оцінка ефективності впровадження комп'ютерних систем ідентифікації транспортних засобів вимагає комплексного аналізу як прямих, так і непрямих витрат та вигод від використання технології. Первинні інвестиції включають витрати на придбання апаратного забезпечення, розробку або ліцензування програмного забезпечення, встановлення мережевої інфраструктури та навчання персоналу. Аналіз сукупної вартості володіння враховує не лише капітальні витрати, але й операційні витрати на технічну підтримку, оновлення обладнання, споживання електроенергії та адміністративні витрати протягом усього життєвого циклу системи.

Економічна ефективність системи проявляється через зменшення витрат на ручну обробку даних, підвищення швидкості обслуговування транспортних потоків та зменшення кількості помилок ідентифікації. Автоматизація процесів дозволяє скоротити штат операторів та перерозподілити людські ресурси на більш складні аналітичні завдання. Підвищення пропускної здатності транспортних вузлів призводить до економії часу користувачів та зменшення витрат палива через скорочення часу очікування в чергах.

Розрахунок повернення інвестицій базується на порівнянні дисконтованих грошових потоків від впровадження системи з альтернативними варіантами використання коштів. Аналіз чутливості дозволяє оцінити вплив змін ключових параметрів на економічну ефективність проекту. Врахування ризиків включає оцінку ймовірності технологічного застарівання, зміни регулятивних вимог та коливань попиту

на послуги. Непрямі економічні ефекти включають покращення іміджу організації, підвищення якості послуг та можливості для розширення бізнесу.

4.2 Інформаційна безпека та захист персональних даних

Забезпечення інформаційної безпеки в системах ідентифікації транспортних засобів є критично важливим аспектом, що вимагає комплексного підходу до захисту даних на всіх етапах їх життєвого циклу. Системи ідентифікації обробляють великі обсяги чутливої інформації, включаючи номерні знаки, часові мітки переміщень та іншу інформацію, що може бути використана для відстеження пересувань конкретних осіб. Розробка політики безпеки повинна враховувати принципи мінімізації збору даних, обмеження часу зберігання та забезпечення прозорості використання інформації.

Технічні заходи захисту включають шифрування даних при зберіганні та передачі, використання безпечних протоколів зв'язку та багатофакторну автентифікацію для доступу до системи. Архітектура безпеки базується на принципі нульової довіри, що передбачає верифікацію кожного запиту доступу незалежно від його походження. Сегментація мережі дозволяє ізолювати критичні компоненти системи та обмежити поширення потенційних атак. Системи виявлення вторгнень забезпечують моніторинг підозрілої активності та автоматичне реагування на інциденти безпеки.

Організаційні заходи включають розробку процедур управління інцидентами, регулярне навчання персоналу питанням інформаційної безпеки та проведення аудитів безпеки. Управління ідентичністю та доступом забезпечує контроль за правами користувачів та автоматичне відкликання доступу при зміні ролей. Резервне копіювання та процедури відновлення гарантують можливість швидкого відновлення роботи системи після інцидентів. Документування всіх операцій з даними забезпечує можливість аудиту та розслідування інцидентів безпеки.

4.3 Правові аспекти та нормативне регулювання

Впровадження систем ідентифікації транспортних засобів вимагає ретельного аналізу правового поля та забезпечення відповідності чинному законодавству у сфері захисту персональних даних, транспортного права та інформаційних технологій. Національні та міжнародні нормативні акти встановлюють вимоги до збору, обробки, зберігання та використання інформації про переміщення транспортних засобів. Європейський регламент про захист даних встановлює суворі вимоги до обробки персональних даних, включаючи необхідність отримання згоди суб'єктів даних та забезпечення права на забуття.

Процедури отримання дозволів та ліцензій можуть варіюватися залежно від юрисдикції та специфіки використання системи. Системи, що використовуються правоохоронними органами, можуть мати інші правові рамки порівняно з комерційними додатками. Транскордонне використання даних вимагає врахування міжнародних угод та принципів взаємного визнання. Співпраця з регулятивними органами на етапі проектування системи дозволяє уникнути правових проблем при впровадженні.

Розробка внутрішніх політик та процедур повинна забезпечувати відповідність правовим вимогам та етичним стандартам. Призначення відповідального за захист даних та створення комітету з етики допомагає забезпечити належне управління питаннями приватності. Регулярний перегляд законодавства та адаптація системи до нових вимог є необхідними для підтримання правової відповідності.

4.4 Соціальні наслідки та етичні аспекти використання технологій розпізнавання

Впровадження систем ідентифікації транспортних засобів має значний соціальний вплив, що вимагає ретельного аналізу етичних аспектів та

потенційних наслідків для різних груп населення. Технології автоматичного розпізнавання можуть сприяти підвищенню безпеки дорожнього руху та ефективності транспортних систем, але водночас створюють нові ризики для приватності та можуть призвести до посилення соціального контролю. Балансування між колективними вигодами та індивідуальними правами є ключовим викликом при проектуванні та впровадженні таких систем.

Питання справедливості та недискримінації є особливо важливими при використанні алгоритмів машинного навчання, які можуть відтворювати та посилювати існуючі упередження. Аналіз алгоритмічної справедливості включає оцінку того, чи однаково ефективно система працює для різних демографічних груп та типів транспортних засобів. Прозорість алгоритмів та можливість оскарження автоматичних рішень є важливими гарантіями захисту прав громадян. Залучення громадськості до обговорення цілей та методів використання системи сприяє формуванню суспільної довіри.

Вплив на зайнятість включає як можливості для створення нових робочих місць у сфері інформаційних технологій, так і ризики скорочення традиційних професій. Програми перекваліфікації працівників можуть допомогти пом'якшити негативні наслідки автоматизації. Цифровий розрив може призвести до нерівного доступу до переваг нових технологій, що вимагає спеціальних заходів для забезпечення інклюзивності. Освітні ініціативи щодо цифрової грамотності допомагають громадянам краще розуміти можливості та ризики нових технологій.

4.5 Перспективи технологічного розвитку та інновації

Технологічний ландшафт систем ідентифікації транспортних засобів продовжує швидко еволюціонувати під впливом прогресу в галузі штучного інтелекту, квантових обчислень та нових сенсорних технологій. Розвиток архітектур трансформерів та методів самоконтрольованого навчання відкриває нові можливості для створення більш точних та ефективних

алгоритмів розпізнавання. Федеративне навчання дозволяє покращувати моделі без централізованого збору даних, що має важливе значення для забезпечення приватності. Технології пояснюваного штучного інтелекту роблять алгоритми більш прозорими та зрозумілими для користувачів.

Інтеграція з технологіями доповненої та віртуальної реальності створює нові можливості для візуалізації та взаємодії з транспортними даними. Використання технологій цифрових двійників дозволяє створювати детальні моделі транспортних систем для симуляції та оптимізації. Розвиток квантових обчислень може революціонізувати криптографічні методи захисту даних та алгоритми оптимізації. Нові типи сенсорів, включаючи лідари високої роздільної здатності та гіперспектральні камери, розширюють можливості збору інформації про транспортні засоби.

Конвергенція різних технологій створює синергетичні ефекти, що призводять до появи принципово нових можливостей. Інтеграція з технологіями блокчейн може забезпечити децентралізоване та захищене зберігання транспортних даних. Використання технологій периферійних обчислень дозволяє переносити обробку даних ближче до джерел інформації, зменшуючи латентність та навантаження на мережу. Розвиток стандартів взаємодії між різними системами сприяє створенню інтероперабельних рішень. Дослідження в галузі нейроморфних обчислень може призвести до створення надзвичайно енергоефективних систем обробки візуальної інформації.

4.6 Інтеграція з екосистемами розумних міст та Інтернету речей

Сучасні системи ідентифікації транспортних засобів стають невід'ємною частиною більш широких екосистем розумних міст, що інтегрують різноманітні технології для покращення якості життя громадян та ефективності міської інфраструктури. Взаємодія з системами управління трафіком дозволяє оптимізувати світлофорні цикли та маршрути руху на

основі реального стану транспортних потоків. Інтеграція з системами паркування забезпечує автоматичну ідентифікацію транспортних засобів та безконтактну оплату послуг. Зв'язок з системами громадського транспорту дозволяє координувати розклади та оптимізувати пересадочні вузли.

Архітектура Інтернету речей забезпечує безшовну взаємодію між різними компонентами міської інфраструктури через стандартизовані протоколи та API. Використання технологій 5G дозволяє забезпечити високошвидкісний обмін даними між транспортними засобами, інфраструктурними елементами та центрами управління. Периферійні обчислення дозволяють обробляти критично важливу інформацію локально, забезпечуючи швидку реакцію на аварійні ситуації. Хмарні платформи забезпечують централізоване зберігання та аналіз даних з усієї міської мережі сенсорів.

Аналітичні системи великих даних дозволяють виявляти закономірності в транспортних потоках та прогнозувати майбутні тенденції для планування розвитку міської інфраструктури. Машинне навчання використовується для оптимізації енергоспоживання, зменшення викидів та покращення безпеки дорожнього руху. Цифрові платформи громадської участі дозволяють залучати громадян до планування транспортної політики та отримувати зворотний зв'язок щодо якості послуг. Інтеграція з системами екологічного моніторингу забезпечує контроль впливу транспорту на довкілля та розробку заходів щодо зменшення забруднення повітря.

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено програмний комплекс обробки зображень на основі нейромережових технологій, що поєднує методи нечіткої логіки та генетичні алгоритми. Проведено детальний порівняльний аналіз наявних алгоритмів обробки візуальної інформації з використанням нечітких нейронних мереж, на основі якого здійснено обґрунтований вибір оптимального алгоритму розпізнавання для впровадження в системі.

Особлива увага приділена ефективності роботи системи за умов наявності шумів у зображеннях – підтверджено її стабільне функціонування в таких умовах. У межах реалізації створено інтегровану нейро-нечітко-генетичну архітектуру, яка синтезує обрані методи в єдине рішення.

Розглянуто і реалізовано модифіковану модель нечіткої нейронної мережі Ванга – Менделя з багатьма виходами, що сприяло підвищенню точності обробки зашумлених зображень. Обґрунтовано використання генетичного алгоритму для оптимізації вагової матриці нейронної мережі. Також реалізовано вдосконалений алгоритм навчання, який базується на генетичному підході із застосуванням адитивної згортки двох операторів мутації, що дозволило зменшити час навчання без втрати якості класифікації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Форсайт Девід А. Комп'ютерний зір. Сучасний підхід. Девід А. Форсайт, Жан Понс - пров. з англ .. - М.: Видавничий дім «Вільямс», 2004. - 928 с.
2. Серль Дж. Розум людини - комп'ютерна програма / Дж. Серль // Світ науки. - 1990. - № 3 - С. 7-13.
3. Черчленд П. Чи може машина мислити? / П. Черчленд, П.С.Черчленд // Світ науки. - 1990. - № 3. - С. 14-21.
4. Бірман Є.Г. Порівняльний аналіз методів прогнозування // НТІ. Сер.2 - 1986. - № 1. - С. 11-16.
5. Бусленко Н. П. Моделювання складних систем / Н.П. Бусленко. - М.: Наука, 1978.-400 с.
6. Вахитов А.Т. Огляд алгоритмів стереозрення / А.Т.Вахитов, Л.С.Гуревич, Д.В.Павленко. Стохастична оптимізація в інформатиці, вип.4 / Под ред. О.Н.Гранічіна- СПб. : Вид-во Санкт-Петербурзького ун-ту, 2008. - 299 с.
7. Вапник В.Н. Відновлення залежностей за емпіричними даними. / В.Н.Вапник - М.: Наука, 1979. - 448с.
8. Вапник В.Н. Теорія розпізнавання образів (Статистичні проблеми навчання). М.: Наука, 1974. - 416 с.
9. Вентцель Е. С. Дослідження операцій: завдання, принципи, методологія / Е.С. Вентцель. - М.: Наука, 1988. - 206 с.
10. Вілкас Е. Й. Оптимальність в іграх і рішеннях / Е.Й. Вілкас. - М.: Наука, 1990.-256 с.
11. Вороновський Г.К. Генетичні алгоритми, штучні нейронні мережі і проблеми віртуальної реальності. / Г.К. Вороновський, К.В. Махота, С.Н. Шів, С.А. Сергєєв. - Харків: Основа, 1997. -112 с.
12. Галушкин А.І. Нейронні мережі: основи теорії. / А.І. Галушкин -

М .: Гаряча лінія - Телеком, 2010р. - 496 с.

13. Гілл Ф. Практична оптимізація. / Ф. Гілл, У.Мюррей, М. Райт - М .: Світ, 1985.

14. Гладков Л.А. Генетичні алгоритми / Л.А. Гладкий, В.В. Курейчик, В.М.Курейчик / Под ред. В.М, Курейчика.-2-е изд., Испр. І доп.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.-320с.

15. Глушаков С.В. Програмування в середовищі Delphi 7. / С.В. Глушаков, А.Л. Клевцов.- Харків: Фоліо, 2003. - 528 с.