

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

САВЧУК Валентин Васильович

**Мікроконтролерна система розпізнавання та ідентифікації
номерних знаків транспортних засобів/Microcontroller
system for recognition and identification of vehicle license
plates**

спеціальність: 174 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ – 42/1
В.В. Савчук

Науковий керівник
к.т.н., доцент І.Р.Пітух

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

«_____» _____ 2026 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
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 КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
САВЧУК Валентин Васильович

_____ (прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

_____ Мікроконтролерна система розпізнавання та ідентифікації номерних знаків
транспортних засобів/Microcontroller system for recognition and identification of
vehicle license plates. _____

_____ керівник роботи _____ к.т.н., доцент І.Р. Пітух _____

_____ затверджені наказом по університету від 01 грудня 2025 р. № 894 _____

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

25 травня 2026р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

- _____ 1. Сфери застосування систем ідентифікації транспортних засобів. _____
- _____ 2. Принцип функціонування систем розпізнавання номерних знаків. _____
- _____ 3. Компоненти систем розпізнавання державного реєстраційного номеру ТЗ. _____
- _____ 4. Методи обробки зображень та розпізнавання символів номерних знаків. _____

4. Основні питання, які потрібно розробити

- _____ 1. Аналіз методів та засобів розпізнавання номерних знаків транспортних
засобів. _____
- _____ 2. Розробка структури та обґрунтування вибору компонентів
мікроконтролерної системи. _____
- _____ 3. Реалізація та дослідження проєктованої мікроконтролерної системи
розпізнавання. _____

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

- _____ 1. Структура МС розпізнавання та ідентифікації НЗ. _____
- _____ 2. Інтеграція МС розпізнавання НЗ у інформаційно-керуючі системи. _____
- _____ 3. Схема алгоритму роботи МС. _____
- _____ 4. Структурна схема ПЗ системи. _____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз методів та засобів розпізнавання номерних знаків транспортних засобів	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	
2	Розробка структури та обґрунтування вибору компонентів мікроконтролерної системи	16.01.2026р. – 15.03.2026р.	
3	Реалізація та дослідження проєктованої мікроконтролерної системи розпізнавання	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	01.05. 2026р. – 25.05.2026р.	

Студент

(підпис)

В.В. Савчук

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доцент І.Р. Пітух

АНОТАЦІЯ

Савчук В.В. Мікроконтролерна система розпізнавання та ідентифікації номерних знаків транспортних засобів. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 174 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У роботі проведено аналіз методів і засобів розпізнавання та ідентифікації номерних знаків. Обґрунтовано вибір компонентів проєктованої системи. Розроблено структуру системи та алгоритм її функціонування. Виконано програмну реалізацію системи з використанням сучасних бібліотек комп'ютерного зору та OCR. Проведено дослідження ефективності роботи системи в умовах, наближених до реальних, та оцінено її точність і швидкодію. Отримані результати підтверджують працездатність і можливість практичного застосування розробленої системи.

ANNOTATION

Savchuk, V.V. Microcontroller system for recognition and identification of vehicle license plates. - Manuscript.

Doctoral studies for the education level «Bachelor» with the title 174 Automation and Computer-Integrated Technologies and Robotics. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The work analyzes methods and tools for recognition and identification of vehicle license plates. The selection of components for the designed system is substantiated. The system structure and its operation algorithm are developed. The software implementation of the system is carried out using modern computer vision libraries and OCR technologies. The efficiency of the system is evaluated under conditions close to real-world operation, and its accuracy and performance are assessed. The obtained results confirm the operability and the possibility of practical application of the developed system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	8
1.1 Сфери застосування систем ідентифікації транспортних засобів за державним номером.....	8
1.2 Принцип функціонування та компоненти систем розпізнавання номерних знаків.....	9
1.3 Методи обробки зображень та розпізнавання символів.....	13
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ.....	21
2.1 Фактори впливу на ефективність розпізнавання номерних знаків та їх математичне моделювання.....	21
2.2 Комплекс апаратних і програмних засобів для реалізації системи.....	25
2.2.1 Обґрунтування вибору апаратної платформи.....	25
2.2.2 Обґрунтування вибору джерела зображень.....	27
2.2.3 Обґрунтування вибору програмного забезпечення.....	29
2.3 Розробка структури проєктованої системи.....	30
3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЄКТОВАНОЇ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ.....	35
3.1 Розробка алгоритму роботи мікроконтролерної системи.....	35
3.2 Програмна реалізація проєктованої системи.....	37
3.3 Дослідження ефективності роботи розробленої системи.....	452
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТОК А Програмна реалізація керуючого модуля.....	56

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Савчук В.В.			Мікроконтролерна система розпізнавання та ідентифікації номерних знаків транспортних засобів/Microcontroller system for recognition and identification of vehicle license plates	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Пітух І.Р.					4	55
Консульт.		Пітух І.Р.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-42		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БД - база даних;

ВМ - виконавчі механізми;

ЗНМ - згорткові нейронні мережі;

МС - мікроконтролерна система;

НЗ - номерний знак;

НМ – нейромережеві моделі;

ОРС - оптичне розпізнавання символів;

ПДР - правил дорожнього руху;

РМЧ - реальний масштаб часу;

САРНЗ - система автоматичного розпізнавання номерних знаків;

СВМ - система відеоменеджменту;

СКД - система контролю доступу;

СПЗ - спеціалізоване програмне забезпечення;

ТЗ - транспотрний засоб;

ІІ - штучний інтелект.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		5

ВСТУП

Актуальність теми. У умовах цифровізації інфраструктури, інтелектуальних транспортних систем та розвитку концепції «розумного міста», задача автоматизації процесів контролю та моніторингу транспортних потоків набуває актуальності. Зростання кількості транспортних засобів, підвищення вимог до безпеки, а також необхідність оптимізації процесів управління рухом і доступом зумовлюють потребу у впровадженні сучасних автоматизованих рішень, здатних забезпечити оперативну і достовірну ідентифікацію транспортних засобів (ТЗ).

Одним із головних напрямів у цій сфері є використання систем автоматичного розпізнавання номерних знаків (САРНЗ), що забезпечують безконтактний контроль доступу на об'єкти, ведення обліку ТЗ, реалізацію систем моніторингу за дотриманням правил дорожнього руху (ПДР). Такі системи широко застосовуються у паркінгах, на промислових підприємствах, у житлових комплексах, на платних дорогах та пунктах пропуску.

Традиційні рішення в цій області зазвичай базуються на використанні потужних серверних обчислень або хмарних технологій. Проте такий підхід має суттєві недоліки: висока вартість обладнання, критична залежність від стабільності каналів зв'язку та значні затримки при передачі відеоданих. Натомість, використання мікроконтролерних систем (МС) дозволяє реалізувати функції виявлення, фіксації та розпізнавання номерних знаків (НЗ) безпосередньо на периферійному рівні. Це дає можливість здійснювати обробку відеопотоку та ідентифікацію безпосередньо на місці збору даних, забезпечуючи високу автономність, компактність та енергоефективність пристроїв.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю створення доступних, мобільних та швидкодіючих систем, які можуть бути інтегровані в локальні мережі автоматизації без залучення високопродуктивної обчислювальної інфраструктури. Це дозволяє ефективно вирішувати завдання швидкого та надійного доступ авторизованих ТЗ, вести журнал подій, а також реалізувати механізми аналітики та прогнозування. Крім того, такі системи можуть бути

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

інтегровані з іншими підсистемами безпеки, що дозволить підвищити загальний рівень захищеності об'єктів.

Мета кваліфікаційної роботи: розробка мікроконтролерної системи, що здатна в автоматичному режимі виявляти, фіксувати та розпізнавати НЗ автомобілів для подальшого використання в системах контролю доступу (СКД) або моніторингу трафіку.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- аналіз існуючих методів і засобів розпізнавання НЗ ТЗ;
- обґрунтування вибору апаратних і програмних засобів для реалізації проєктованої системи;
- розробка структури МС;
- розробка алгоритму функціонування системи;
- дослідження працездатності розробленої системи в умовах, наближених до реальних, та оцінювання ефективності її роботи.

Об'єкт дослідження - процеси обробки зображень та автоматичної ідентифікації ТЗ за їх державними НЗ.

Предмет дослідження - МС розпізнавання символів НЗ ТЗ.

Методи дослідження – аналіз і узагальнення науково-технічної літератури, системний аналіз, алгоритмічне проєктування, програмна реалізація мікроконтролерної системи, експериментальне дослідження та технічне оцінювання ефективності роботи системи.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці МС ідентифікації реєстраційного НЗ ТЗ, яка може бути використана у складі СКД та моніторингу транспортних потоків. Запропонована система забезпечує автоматичне виявлення, локалізацію та розпізнавання НЗ у реальному масштабі часу (РМЧ) із використанням методів обробки зображень та елементів штучного інтелекту, що дозволяє мінімізувати участь оператора.

Публікації. Савчук В.В., Давлетова А.Я. Система розпізнавання номерних знаків транспортних засобів // Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026), Тернопіль, 2026.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Сфери застосування систем ідентифікації транспортних засобів за державним номером

Сфери застосування систем розпізнавання НЗ охоплюють широкий спектр задач, пов'язаних із забезпеченням безпеки, автоматизацією процесів та управлінням транспортними потоками (рисунк 1.1) [1-5].

Найбільш значимим напрямом є правоохоронна діяльність, де такі системи використовуються для виявлення порушень ПДР, автоматичної фіксації правопорушень, пошуку викрадених ТЗ та контролю ситуації на дорогах [6]. Висока швидкість обробки інформації дозволяє здійснювати моніторинг у РМЧ та підвищувати ефективність реагування на інциденти.



Рисунок 1.1 – Основні сфери застосування САРНЗ

Важливим напрямом є системи управління паркуванням, де розпізнавання НЗ використовується для автоматизації процесів в'їзду та виїзду ТЗ, а також

реалізації безконтактного доступу без застосування фізичних ідентифікаторів [7]. Такі рішення широко застосовуються також у житлових комплексах, бізнес-центрах та на територіях підприємств [8].

У сфері транспортної інфраструктури та логістики системи розпізнавання НЗ забезпечують автоматизацію процесів на платних дорогах, що дозволяє мінімізувати затримки та зменшити черги [9]. Також, вони можуть застосовуватися і для оптимізації руху ТЗ на підприємствах, для контролю за їх переміщенням і в системах обліку робочого часу персоналу.

Окреме місце займає інтеграція таких систем у концепцію «розумного міста», де вони використовуються для аналізу транспортних потоків, управління трафіком та підвищення рівня безпеки міського середовища. У цьому контексті системи РНЗ є важливим джерелом даних для аналітичних платформ та систем підтримки прийняття рішень [10].

Додатково слід відзначити використання таких систем у сфері комерційної аналітики та маркетингу, де вони дозволяють оцінювати інтенсивність руху транспорту біля об'єктів торгівлі або сервісу, а також у системах прикордонного контролю, де автоматизація ідентифікації ТЗ підвищує ефективність пропускних процедур [11].

1.2 Принцип функціонування та компоненти систем розпізнавання номерних знаків

Сучасні САРНЗ є складними апаратно-програмними комплексами, що поєднують засоби відеоспостереження, обчислювальні модулі для обробки та аналізу відеоінформації та спеціалізоване програмне забезпечення (СПЗ) [11-14]. Їх структура визначається функціональними вимогами до системи, умовами експлуатації та обчислювальними можливостями використовуваних технічних засобів.

На рисунку 1.2 наведено узагальнену структуру САРНЗ. Як правило, до складу таких систем входять цифрові ІР-камери з високою роздільною здатністю, які забезпечують захоплення відеопотоку, а також обчислювальні

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

пристрої, що виконують його обробку у РМЧ. У сучасних рішеннях широко застосовуються спеціалізовані камери з вбудованими функціями аналітики, здатні не лише розпізнавати зображення номерних знаків, але й визначати додаткові параметри ТЗ, зокрема його тип, колір та швидкість руху. Такі камери можуть функціонувати як автономні пристрої або як частина комплексної системи відеоспостереження.



Рисунок 1.2 – Узагальнена структура САРНЗ

СПЗ систем розпізнавання НЗ базується на використанні алгоритмів комп'ютерного зору та методів машинного навчання. Воно забезпечує аналіз відеопотоку, виділення області номерної пластини знака, сегментацію символів та їх подальше розпізнавання. Сучасні програмні рішення здатні інтегруватися із системами відеоменеджменту (СВМ), а також взаємодіяти з базами даних (БД), що містять так звані «білі» та «чорні» списки ТЗ, що дозволяє реалізувати функції автоматизації СКД.

Інфраструктурна складова систем розпізнавання НЗ включає допоміжні пристрої, зокрема відеореєстратори, сервери обробки даних, мережеве обладнання, засоби освітлення для роботи в умовах недостатньої освітленості, а

також виконавчі механізми (ВМ), такі як шлагбауми або ворота. Взаємодія між цими компонентами забезпечує повний цикл функціонування системи від захоплення зображення до прийняття керуючого рішення.

Ефективність роботи систем розпізнавання НЗ значною мірою залежить від умов встановлення та налаштування обладнання. Зокрема, важливими є параметри кута огляду камери, відстані до об'єкта та розміру номерного знака на зображенні. Для забезпечення високої точності розпізнавання необхідно, щоб символи реєстраційної пластини номеру ТЗ займали достатню кількість пікселів у кадрі, а також щоб кут відхилення камери відносно площини номерного знака був обмеженим.

Основою таких систем (рисунок 1.3) є відеокамера, яка здійснює захоплення зображення сцени. який здійснює захоплення зображення сцени. Якість отриманого відеопотоку безпосередньо впливає на точність подальшого розпізнавання, тому важливими параметрами є роздільна здатність, чутливість до освітлення та частота кадрів. Сформований відеопотік надходить до модуля захоплення відео», де виконується його приймання та підготовка до подальшої обробки.

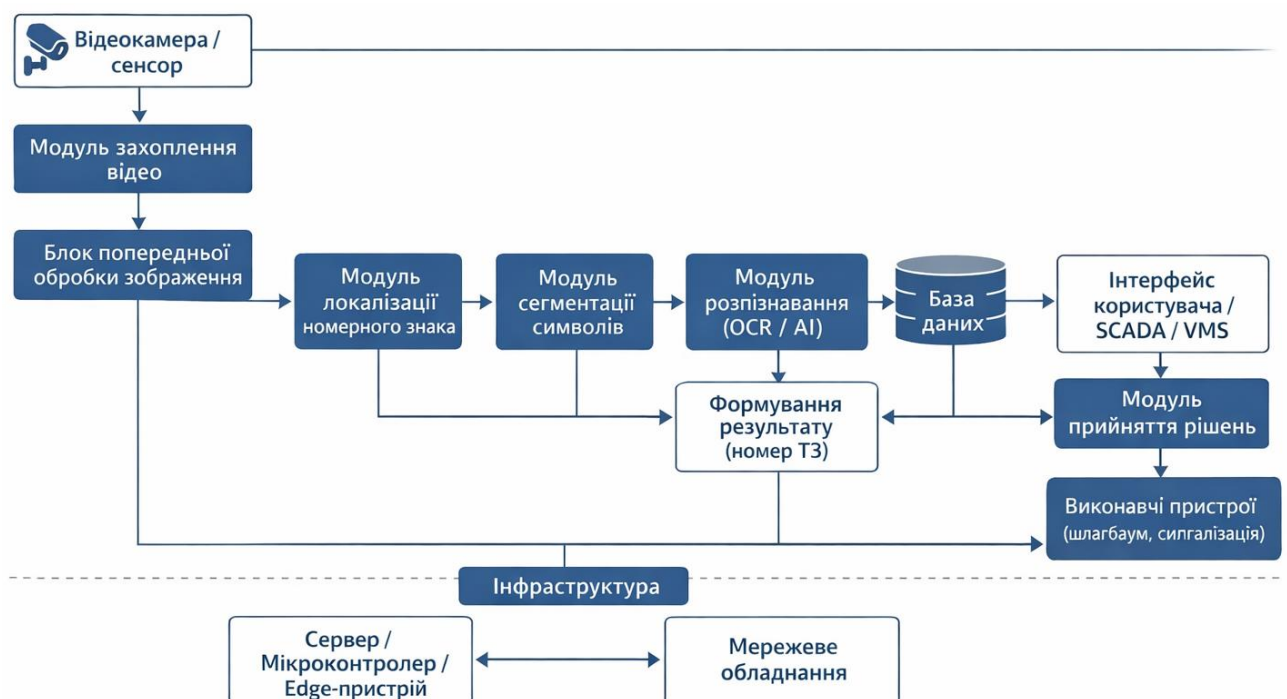


Рисунок 1.3 – Функціональна схема систем розпізнавання НЗ

Отримані дані передаються до обчислювального блоку, який може бути реалізований у вигляді мікроконтролера, одноплатного комп'ютера або спеціалізованого обчислювального модуля. Обчислювальний блок виконує основні функції обробки зображення, включаючи попередню обробку, сегментацію, виділення об'єктів та розпізнавання НЗ. У сучасних САРНЗ можуть використовуватися апаратні прискорювачі або спеціалізовані модулі обробки сигналів, що дозволяє підвищити швидкодію системи. На початковому етапі використовується блок попередньої обробки зображення, який забезпечує фільтрацію, нормалізацію та підвищення якості зображення. Після цього оброблене зображення передається до модуля локалізації номерного знака, де здійснюється виявлення області номерної пластини. Виділена область поступає до модуля сегментації символів, у якому виконується розділення зображення знака на окремі символи. Результати обробки передаються до підсистеми зберігання або відображення, де вони можуть бути використані оператором або іншими інформаційними системами.

Зокрема символи обробляються у модулі розпізнавання (OCR / AI), де здійснюється їх ідентифікація із використанням алгоритмів комп'ютерного зору або методів штучного інтелекту. Дані в результаті розпізнавання передаються до блоку формування результату, де створюється текстове представлення НЗ ТЗ.

Отримані результати можуть зберігатися у БД або передаватися до інтерфейсу користувача / SCADA / VMS для подальшого аналізу та інтеграції з іншими системами. На основі отриманої інформації модуль прийняття рішень формує керуючі сигнали, які передаються до ВМ, наприклад шлагбаума чи сигналізації, забезпечуючи автоматизацію процесів управління доступом або реагування на події.

Функціонування системи підтримується інфраструктурною частиною, що включає сервер, мікроконтролер чи Edge-пристрій та мережеве обладнання, які забезпечують обробку, зберігання та передачу даних між окремими компонентами системи.

Принцип функціонування системи розпізнавання НЗ (рисунок 1.4) полягає у послідовному виконанні етапів обробки відеоданих. Спочатку здійснюється

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

захоплення зображення та його оцифрування. Далі виконується попередня обробка, спрямована на покращення якості зображення та виділення об'єктів на фоні. Після цього проводиться локалізація автомобіля та області реєстраційний номер ТЗ, яка підлягає подальшій обробці.

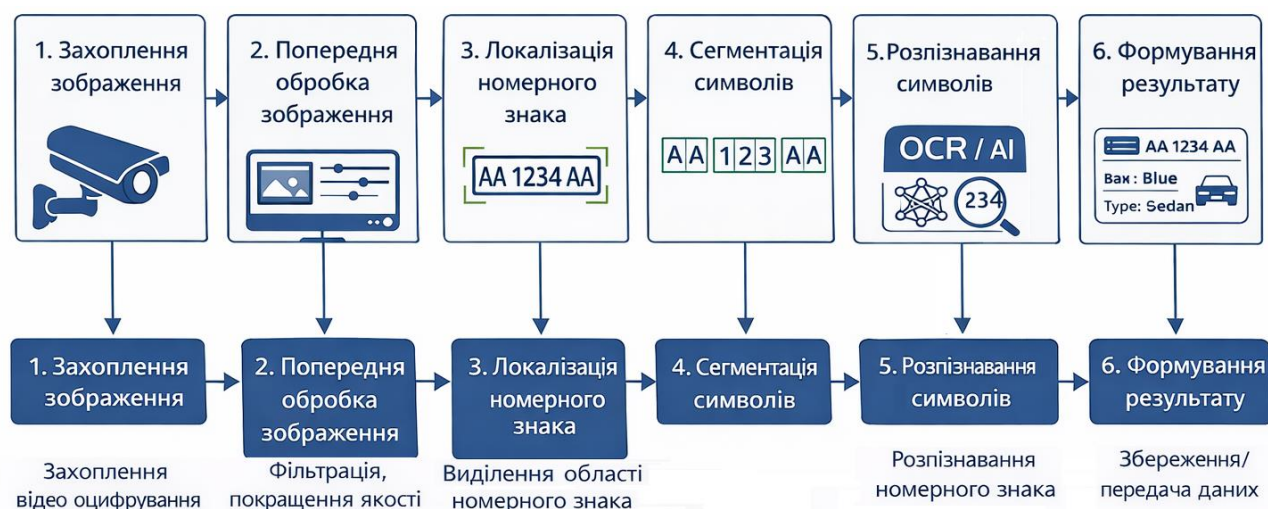


Рисунок 1.4 – Принцип функціонування САРНЗ

На наступному етапі відбувається сегментація області номерної пластини на окремі символи, які передаються до модуля розпізнавання. Розпізнавання може здійснюватися за допомогою різних методів, включаючи шаблонні підходи або нейронні мережі. Завершальним етапом є формування текстового представлення символів реєстраційного номера та його збереження або передача у зовнішні системи.

Система розпізнавання НЗ є багаторівневою структурою, що поєднує апаратні та програмні компоненти, а її ефективність визначається узгодженістю роботи всіх функціональних блоків.

1.3 Методи обробки зображень та розпізнавання символів

Методи розпізнавання зображень можна класифікувати за різними ознаками залежно від використовуваних математичних підходів, способів представлення даних та рівня інтелектуалізації обробки [16-19].

Узагальнена класифікація (рисунок 1.5) дозволяє систематизувати існуючі

підходи та обґрунтувати вибір методів для конкретних задач, зокрема для використання в системах розпізнавання НЗ ТЗ.



Рисунок 1.5 – Методи розпізнавання зображень

За типом математичної моделі методи розпізнавання поділяються на:

- детерміновані, які базуються на використанні чітко визначених математичних правил та алгоритмів обробки зображень, що забезпечують однозначний результат за заданих умов;
- статистичні - використовують апарат теорії ймовірностей і базуються на оцінюванні розподілів ознак та прийнятті рішень на основі статистичних критеріїв;
- логічні методи ґрунтуються на використанні систем правил типу «якщо - то», що дозволяє формалізувати процес розпізнавання у вигляді експертних систем.

За підходом до аналізу даних виділяють:

- структурні методи, які описують об'єкт як сукупність взаємопов'язаних елементів або примітивів, що дозволяє формувати формалізований опис зображення у вигляді певної «граматики».
- методи, що базуються на ознаках, передбачають виділення

характерних параметрів зображення, таких як контури, текстурні характеристики або колірні особливості, з подальшим їх порівнянням із еталонними значеннями;

– методи шаблонного порівняння базуються на безпосередньому зіставленні зображення або його фрагментів із заздалегідь підготовленими зразками.

Сучасний етап розвитку систем розпізнавання характеризується широким застосуванням інтелектуальних методів, зокрема штучного інтелекту (ШІ). До них належать штучні нейронні мережі, які імітують принципи функціонування біологічних нейронних структур, а також згорткові нейронні мережі, що є найбільш ефективними для задач обробки зображень завдяки здатності автоматично виділяти ієрархічні ознаки. Для аналізу послідовних даних або відеопотоків можуть використовуватися рекурентні нейронні мережі. Окрім цього, у задачах класифікації широко застосовується метод опорних векторів, який забезпечує побудову оптимальних розділяючих поверхонь у просторі ознак.

Залежно від спеціалізації задач розпізнавання виділяють окремі прикладні напрями, серед яких особливе місце займає оптичне розпізнавання символів (ОРС), що передбачає перетворення текстової інформації із зображення у машиночитаний формат. До інших напрямів належать біометричні системи ідентифікації, що використовують унікальні фізіологічні характеристики людини, а також системи технічного зору, які застосовуються у промисловості, медицині, транспорті для автоматизації виявлення і класифікації об'єктів у РМЧ.

САРНЗ ТЗ функціонують за принципом послідовного конвеєра обробки даних, у якому на кожному етапі використовуються спеціалізовані методи обробки зображень та аналізу інформації. Такий підхід дозволяє забезпечити високу точність і швидкодію системи навіть у складних умовах зовнішнього середовища. Основні групи методів, що застосовуються в таких системах можна розділити наступним чином:

1. Методи локалізації (пошук номера на кадрі).

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. Методи сегментації символів.
3. Методи розпізнавання символів.
4. Методи пост-обробки та корекції.

Для детекції області реєстраційного номера на зображенні застосовуються як класичні методи, так і сучасні алгоритми комп'ютерного зору. До традиційних підходів належить метод ковзного вікна (рисунок 1.6), при якому зображення сканується областями фіксованого розміру з подальшим аналізом кожної з них.

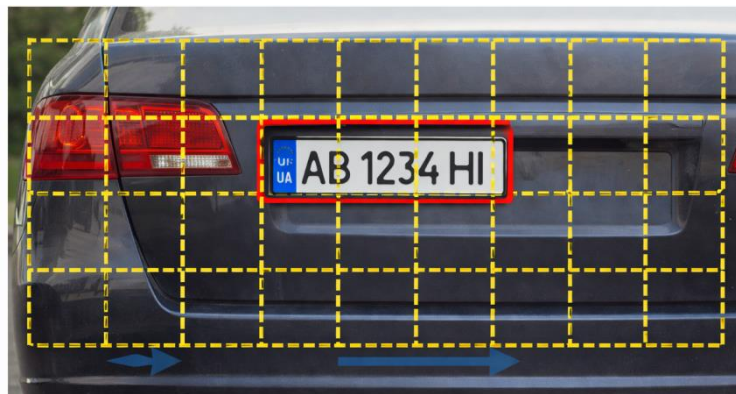


Рисунок 1.6 – Приклад локалізації номерної пластини методом ковзного вікна

Часто цей підхід поєднується з каскадними класифікаторами, зокрема на основі ознак Хаара. Іншим ефективним підходом є використання аналізу текстур та градієнтів, зокрема методу гістограм орієнтованих градієнтів, який дозволяє виявляти характерні області з високою контрастністю та наявністю вертикальних структур.

Підхід із використанням ковзного вікна є простим та універсальним, не потребує попередніх припущень щодо розташування об'єктів і добре поєднується з класичними класифікаторами. Проте він характеризується високою обчислювальною складністю через необхідність перевірки великої кількості позицій вікон. Крім того, їх фіксований розмір може призводити до пропуску об'єктів різного масштабу, а значне перекриття вікон до надлишкових обчислень, що ускладнює застосування методу в РМЧ.

Найбільш сучасними є методи детекції на основі нейромережових моделей (НМ), зокрема архітектури типу YOLO або SSD (рисунок 1.7), які

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

забезпечують швидке та точне виявлення номерної пластини навіть за умов складного фону, зміни освітлення або наявності геометричних спотворень [20].

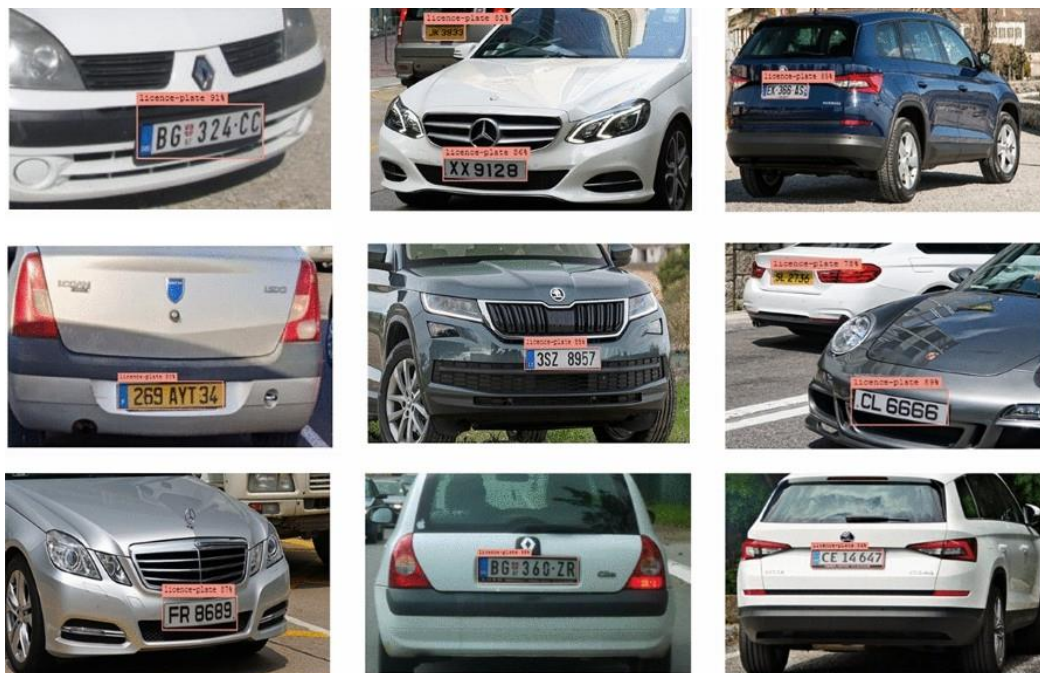


Рисунок 1.7 - Приклад детекції НЗ з використанням НМ

Після визначення області номерного знака виконується сегментація символів, тобто поділ зображення на окремі елементи - літери та цифри. Одним із поширених підходів є метод проєкцій, який базується на аналізі розподілу пікселів по вертикалі або горизонталі та дозволяє визначити межі символів за характерними мінімумами інтенсивності (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 - Сегментація символів метод проєкцій

Також широко використовується метод аналізу зв'язних компонентів, що полягає у групуванні сусідніх пікселів у окремі області, які відповідають потенційним символам (рисунок 1.9 а). Додатково застосовуються методи контурного аналізу, які дозволяють виділяти об'єкти за їх геометричними характеристиками (рисунок 1.9 б)



Рисунок 1.9 – Методи сегментації

Розпізнавання символів відноситься до задач ОРС. У простих системах розпізнавання НЗ може застосовуватися метод шаблонного порівняння, при якому виділений символ зіставляється з еталонними зразками (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Метод порівняння з шаблоном

Проте такий підхід є чутливим до змін форми, шумів та пошкоджень. У сучасних системах переважають методи на основі згорткових нейронних мереж (ЗНМ), які здатні ефективно класифікувати символи навіть за наявності спотворень або варіацій шрифту (рисунок 1.11).

Для підвищення точності розпізнавання також застосовуються рекурентні нейронні мережі, зокрема моделі типу LSTM [21], які дозволяють аналізувати

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

весь рядок номера як послідовність символів.

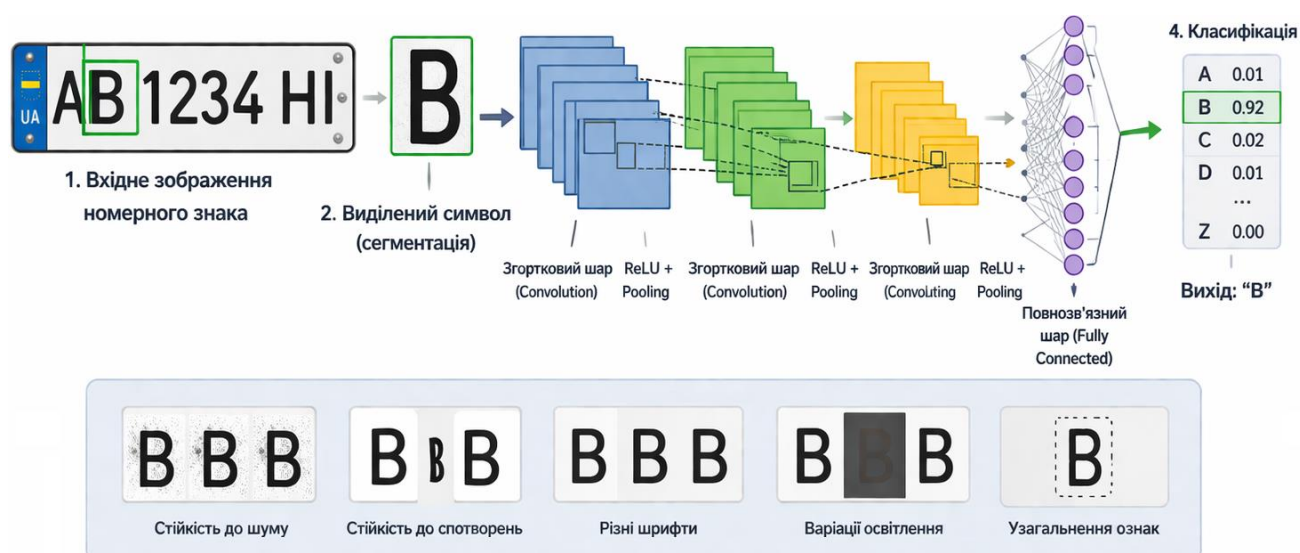


Рисунок 1.11 – Розпізнавання символів за допомогою ЗНМ

Постобробка результатів розпізнавання спрямована на підвищення достовірності отриманих даних. На цьому етапі використовується синтаксичний аналіз, що перевіряє відповідність розпізнаного номера ТЗ встановленим форматам, характерним для певної країни або регіону. Додатково можуть застосовуватися методи перевірки коректності, зокрема використання контрольних правил або обмежень, що дозволяє виявляти та виправляти помилки розпізнавання.

Методи які використовуються для розпізнавання НЗ можна умовно поділити на класичні алгоритмічні підходи обробки зображень та сучасні методи, що базуються на використанні машинного навчання, ШІ та НМ. Кожна з цих груп має свої переваги та обмеження, що визначають доцільність їх застосування у конкретних умовах.

Класичні методи базуються на використанні алгоритмів цифрової обробки, наприклад методи фільтрації, бінаризації, морфологічної обробки та аналізу зв'язних компонентів. Такі підходи дозволяють ефективно виділяти об'єкти на зображенні, локалізувати номерний знак та сегментувати його на окремі символи. Розпізнавання символів у цьому випадку часто здійснюється за допомогою шаблонного порівняння або статистичних методів.

Перевагою класичних методів є їх відносна простота реалізації та невисокі

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

вимоги до обчислювальних ресурсів, що робить їх придатними для використання у МС. Однак їх ефективність значною мірою залежить від умов зйомки, таких як освітлення, наявність шумів та геометричні спотворення.

Сучасні методи розпізнавання базуються на використанні машинного навчання, зокрема НМ. Вони дозволяють автоматично виділяти інформативні ознаки зображення та забезпечують високу точність розпізнавання навіть у складних умовах. ЗНМ можуть використовуватися як для виявлення ТЗ, так і для розпізнавання символів його реєстраційного номера.

Проте використання ЗНМ потребує значних обчислювальних ресурсів та попереднього навчання на великих обсягах даних, що може ускладнювати їх застосування у вбудованих системах. У зв'язку з цим перспективним напрямом є використання гібридних підходів, які поєднують класичні методи обробки зображень для попередньої обробки та НМ для етапу розпізнавання.

Вибір методу розпізнавання НЗ визначається вимогами до точності, швидкодії та апаратних ресурсів системи. Для МС доцільним є використання оптимізованих алгоритмів або комбінованих підходів, що забезпечують баланс між продуктивністю та якістю розпізнавання.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Фактори впливу на ефективність розпізнавання номерних знаків та їх математичне моделювання

Ефективність методів розпізнавання НЗ ТЗ визначається сукупністю зовнішніх факторів, що впливають на якість вхідного зображення та коректність подальшої обробки (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Фактор, що впливають на розпізнавання НЗ

До основних факторів належать крім погодніх умов, швидкості руху ТЗ та ступені забруднення його номерного знака належать:

- освітлення, тому використання інфрачервоного підсвічування забезпечує стабільну роботу системи в умовах недостатнього або відсутнього видимого освітлення, дозволяючи отримувати контрастні зображення номерних знаків навіть у повній темряві;
- якість зображення залежить від роздільної здатності камери, рівня шумів та динамічного діапазону, що безпосередньо впливають на точність виділення символів та подальшого ОРС, тому низька якість зображення призводить до втрати дрібних деталей і збільшення кількості хибно-позитивного розпізнавання;

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

– геометричні спотворення, що виникають у випадку встановлення камери під кутом до площини пластин НЗ, зокрема перспективні (трапецієподібні) спотворення. Для їх усунення застосовуються алгоритми геометричної нормалізації, наприклад, проєктивні перетворення, які дозволяють відновити прямокутну форму НЗ перед етапом розпізнавання.

В умовах недостатнього освітлення або при використанні інфрачервоного підсвічування формується зображення, яке може містити шумові спотворення. Загальна модель зображення має вигляд:

$$I(x, y) = S(x, y) + n(x, y),$$

де $S(x, y)$ - істинне зображення НЗ,

$n(x, y)$ - шум.

Найбільш поширеними є гаусівський шум, імпульсний шум та фотонний шум. Наявність шумів призводить до зниження контрастності і, відповідно, до втрати контурів символів та зниження точності сегментації.

Якість визначається роздільною здатністю, контрастом та рівнем шумів. Зниження просторової роздільної здатності призводить до втрати високочастотних компонентів, що описують межі символів, що ускладнює їх розпізнавання.

При зйомці під кутом виникають перспективні спотворення, які описуються проєктивним перетворенням:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix},$$

де H - матриця гомографії 3×3 :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}.$$

Нормалізація координат виконується як:

$$x'' = \frac{x'}{w} \quad y'' = \frac{y'}{w}.$$

Застосування такого перетворення дозволяє відновити геометрично правильну форму пластини НЗ.

Погодні фактори (дощ, туман, сніг) впливають на процес формування

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

зображення через розсіювання світла в атмосфері. Математично це описується моделлю:

$$I(x) = J(x) \cdot t(x) + A(1 - t(x)),$$

де $J(x)$ - істинне зображення,

A - атмосферне освітлення,

$t(x)$ - коефіцієнт пропускання:

$$t(x) = e^{-\beta d(x)},$$

де β - коефіцієнт розсіювання,

$d(x)$ - відстань до об'єкта.

У складних погодних умовах знижується контраст зображення, що ускладнює локалізацію реєстраційного знака ТЗ та сегментацію символів.

При русі автомобіля виникає ефект розмиття, який описується згорткою:

$$I(x, y) = S(x, y) * h(x, y),$$

де $h(x, y)$ - функція розмиття.

Для лінійного руху вона має вигляд:

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{L}, & \text{вздовж напрямку руху} \\ 0, & \text{інше} \end{cases}.$$

Розмиття призводить до втрати чіткості символів і збільшення кількості помилок ОРС.

Забруднення (бруд, сніг, пил) можна розглядати як часткову втрату інформації:

$$I(x, y) = S(x, y) \cdot M(x, y),$$

де $M(x, y)$ - маска видимості:

$$M(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{якщо піксель закритий} \\ 1, & \text{якщо піксель видимий} \end{cases}.$$

Це призводить до втрати частини символів або їх деформації, що суттєво впливає на точність розпізнавання.

Для оцінки ефективності застосовуються такі метрики:

– точність розпізнавання символів НЗ

$$P_{symbol} = \frac{N_{correct}}{N_{total}};$$

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

- точність розпізнавання пластини НЗ

$$P_{number} = \frac{N_{correct_plates}}{N_{total_plates}};$$

- точність системи - визначає, наскільки правильно вона ідентифікує НЗ без помилкових спрацювань

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP},$$

де TP - істинно-позитивні результати,

FP - хибно-позитивні результати;

- повнота - показує, наскільки повно система виявляє всі наявні НЗ

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN},$$

де FN - хибно-негативні результати.

- F1-міра - є узагальненою метрикою, що враховує баланс між точністю та повнотою і використовується для комплексної оцінки ефективності алгоритмів розпізнавання:

$$F1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}.$$

Математично процес розпізнавання НЗ можна представити як послідовність перетворень:

$$S(x, y) \rightarrow I(x, y) \rightarrow \hat{S}(x, y) \rightarrow OPC,$$

де $I(x, y)$ - спотворене зображення (шум, розмиття, перспектива),

$\hat{S}(x, y)$ - відновлене (після фільтрації та нормалізації).

Ефективність МС розпізнавання НЗ визначається комплексним впливом зовнішніх факторів, які математично проявляються у вигляді шумів, геометричних перетворень, розмиття та втрати інформації. Для підвищення точності розпізнавання необхідно застосовувати методи попередньої обробки зображень, компенсації спотворень та адаптивні алгоритми розпізнавання, зокрема нейромережеві підходи.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

2.2 Комплекс апаратних і програмних засобів для реалізації системи

2.2.1 Обґрунтування вибору апаратної платформи

Розробка МС розпізнавання НЗ потребує обґрунтованого вибору апаратних та програмних засобів, що забезпечують необхідний рівень точності, швидкодії та надійності функціонування системи в умовах реальної експлуатації. Враховуючи специфіку задачі, система повинна забезпечувати обробку відеопотоку у РМЧ з обмеженими обчислювальними ресурсами, що характерно для мікроконтролерних та вбудованих систем.

Як апаратну основу системи доцільно використовувати обчислювальний пристрій типу одноплатного комп'ютера або мікроконтролерної платформи з розширеними можливостями обробки зображень (рисунок 2.2) [22-24].

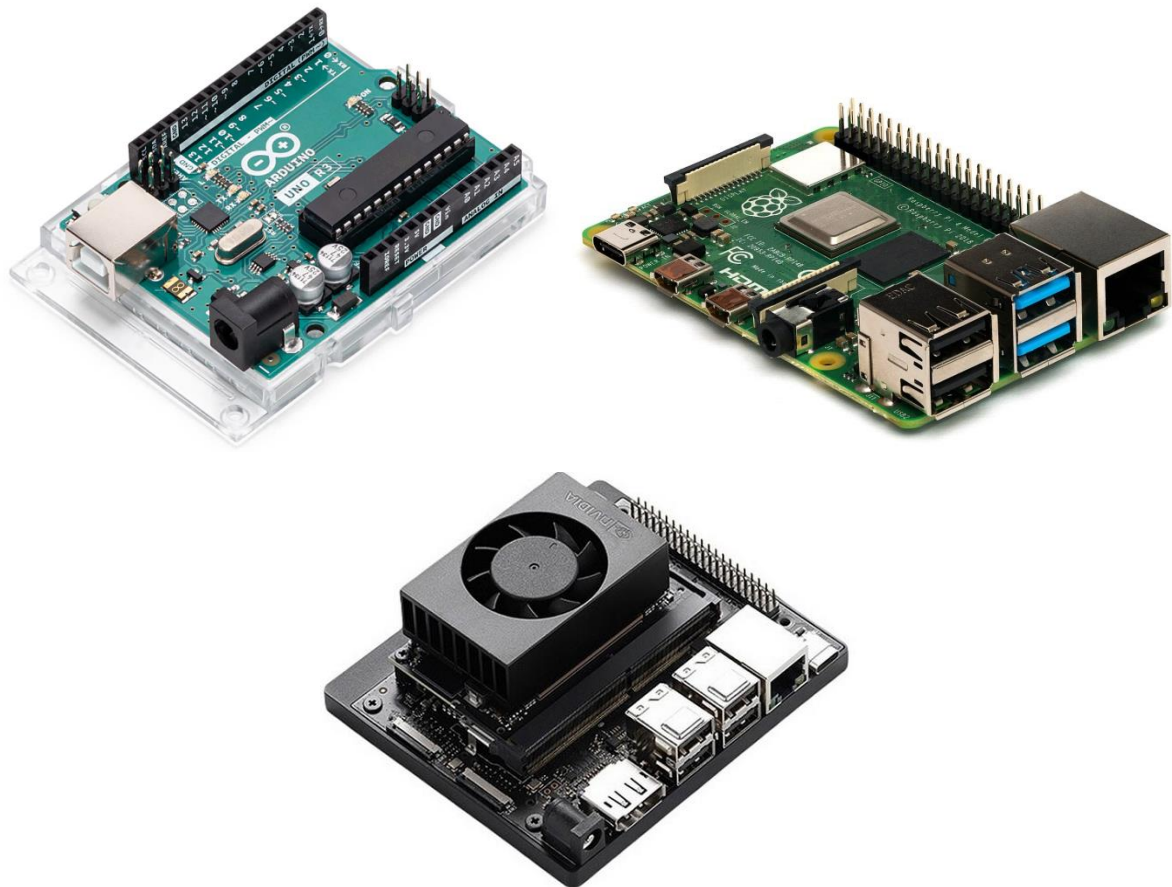


Рисунок 2.2 – Апаратні платформи для реалізації СРНЗ

Зокрема, ефективним рішенням є використання платформ класу Raspberry Pi або аналогічних edge-пристроїв, які поєднують достатню обчислювальну

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

потужність, наявність інтерфейсів для підключення камер та можливість роботи з сучасними бібліотеками комп'ютерного зору. Альтернативою можуть бути мікроконтролери з підтримкою апаратного прискорення або спеціалізовані модулі, орієнтовані на задачі обробки відеоданих.

В таблиці 2.1 наведено порівняльні характеристики апаратних платформ.

Таблиця 2.1 – Порівняння апаратних платформ для реалізації СРНЗ

Критерій	Arduino	Raspberry Pi	NVIDIA Jetson
Тип пристрою	Мікроконтролер	Одноплатний комп'ютер	Вбудований AI-комп'ютер
Обчислювальна потужність	Низька	Середня	Висока
Підтримка ОС	Ні (bare-metal)	Linux (Raspberry Pi OS)	Linux (Ubuntu, JetPack)
Обробка зображень	Обмежена	Повноцінна (OpenCV)	Високопродуктивна (GPU)
Підтримка AI/нейромереж	Практично відсутня	Обмежена	Повноцінна (GPU, CUDA)
Підключення камери	Обмежене	CSI / USB камери	CSI / USB / AI-камери
Споживання енергії	Дуже низьке	Низьке	Середнє–високе
Вартість	Низька	Середня	Висока
Реальний час (ANPR)	Ні	Обмежено	Так
Складність розробки	Низька	Середня	Вища

Проведений аналіз (таблиця 2.1) показує, що мікроконтролерні рішення, такі як Arduino, мають обмежені можливості обробки зображень та не

дозволяють ефективно реалізувати алгоритми розпізнавання НЗ, особливо із використанням методів комп'ютерного зору та ШІ.

Платформи типу NVIDIA Jetson забезпечують високу продуктивність та підтримку апаратного прискорення нейромережових обчислень, однак характеризуються більшою вартістю, підвищеним енергоспоживанням та складністю інтеграції.

Оптимальним компромісним рішенням є використання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi 4 Model B. Основними технічними характеристиками обраної платформи є:

- процесор (CPU) Broadcom BCM2711, Quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC;
- тактова частота 1.5 ГГц забезпечує достатню швидкість обробки кадрів у РМЧ;
- оперативна пам'ять (RAM) 4 ГБ (або 8 ГБ) LPDDR4-3200 SDRAM, достатня для буферизації відеопотоку високої чіткості.

Пристрій забезпечує достатню обчислювальну потужність для реалізації алгоритмів комп'ютерного зору, підтримує сучасні програмні бібліотеки та має невисоку вартість і енергоспоживання. Це дозволяє ефективно реалізувати МС розпізнавання НЗ у РМЧ.

2.2.2 Обґрунтування вибору джерела зображень

Для формування вхідних даних використовується цифрова відеокамера, яка повинна забезпечувати достатню роздільну здатність та частоту кадрів для коректного виділення області реєстраційного НЗ. Важливими параметрами при виборі камери є чутливість до освітлення, можливість роботи в умовах недостатньої освітленості та підтримка стандартних інтерфейсів передачі даних.

Відповідно до вимог у проєктованій системі потрібно використовувати цифрову IP-камеру яка забезпечить можливість підтримки технології автоматичного розпізнавання НЗ.

Сучасні камери САРНЗ є спеціалізованими пристроями для задач розпізнавання реєстраційних номерів та забезпечують високу якість зображення

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

навіть у складних умовах експлуатації, а також високу точність розпізнавання до 95–98 % завдяки використанню алгоритмів глибокого навчання. Важливою особливістю в таких системах є наявність інфрачервоного підсвічування, що дозволяє ефективно фіксувати НЗ у темний час доби та зменшувати вплив відблисків фар.

Типові технічні характеристики таких камер включають роздільну здатність не менше 2–4 Мп (наприклад, 2592×1520 пікселів), частоту кадрів до 30 кадрів/с, підтримку технологій покращення зображення (WDR, шумозаглушення) та використання варіофокальних об'єктивів. При цьому правильний вибір об'єктива є критичнішим за саму роздільну здатність, оскільки саме він визначає кількість пікселів, що припадають на область НЗ.

З урахуванням вимог до системи, камера повинна забезпечувати:

- достатню деталізацію зображення номерної пластини;
- стабільну роботу при різних умовах освітлення;
- підтримку стандартних інтерфейсів (USB, CSI або Ethernet);
- можливість інтеграції з програмними модулями комп'ютерного зору.

Для реалізації системи розпізнавання номерних знаків доцільно використати камеру типу Raspberry Pi High Quality Camera (рисунок 2.3), яка є офіційним модулем для одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi та забезпечує необхідні характеристики для задач комп'ютерного зору [25].



Рисунок 2.3 – Камера Raspberry Pi

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

Дана камера оснащена сенсором Sony IMX477 з роздільною здатністю 12,3 Мп, що дозволяє отримувати високодеталізовані зображення, необхідні для коректного виділення області реєстраційного НЗ. Крім того, перевагою є можливість використання різних об'єктивів стандарту C/CS, що дозволяє гнучко налаштовувати поле зору, масштаб зображення залежно від умов експлуатації системи, а також необхідну щільність пікселів на області номерної пластини, яка є критичним параметром для точності розпізнавання.

Підключення камери здійснюється через інтерфейс CSI, що забезпечує високу швидкість передачі даних та мінімальні затримки при обробці відеопотоку, що є важливим фактором для реалізації МС, що працює у РМЧ.

2.2.3 Обґрунтування вибору програмного забезпечення

Програмна складова МС розпізнавання НЗ повинна забезпечувати обробку відеопотоку, реалізацію алгоритмів комп'ютерного зору та можливість інтеграції з обчислювальною платформою Raspberry Pi. Враховуючи обмежені обчислювальні ресурси вбудованих систем, особливу увагу приділено вибору ефективних та оптимізованих програмних засобів.

Як основну мову програмування доцільно використовувати Python, що обумовлено її широким застосуванням у задачах обробки зображень та наявністю значної кількості бібліотек для реалізації алгоритмів комп'ютерного зору. Крім того, Python забезпечує швидку розробку прототипів та має підтримку на платформі Raspberry Pi.

Для роботи з відеоданими та реалізації базових алгоритмів обробки зображень використовується бібліотека OpenCV [26], яка дозволяє виконувати захоплення відеопотоку з камери Raspberry Pi HQ Camera, попередню обробку зображень, фільтрацію, бінаризацію, а також реалізовувати методи сегментації та виділення об'єктів. OpenCV оптимізована для роботи в середовищі Linux та ефективно використовує ресурси одноплатних комп'ютерів.

Для реалізації етапу розпізнавання символів доцільно застосовувати бібліотеки оптичного розпізнавання тексту або моделі на основі нейронних мереж. Зокрема, може використовуватися Tesseract OCR як готове рішення для

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розпізнавання символів, або легковагові згорткові нейронні мережі, реалізовані за допомогою фреймворків TensorFlow Lite [27] або PyTorch [26]. Використання оптимізованих моделей дозволяє забезпечити достатню точність розпізнавання при обмежених ресурсах Raspberry Pi.

Для взаємодії з камерою Raspberry Pi HQ Camera використовується бібліотека Picamera2 [28] або стандартні засоби Video4Linux (V4L2), що забезпечують стабільне отримання відеопотоку через інтерфейс CSI та мінімальні затримки при передачі даних. Це є критично важливим для реалізації системи, що працює у реальному або квазі-реальному часі.

Операційною системою доцільно обрати Raspberry Pi OS (на базі Linux), яка забезпечує сумісність із усіма необхідними бібліотеками, стабільність роботи та підтримку апаратних інтерфейсів. Використання Linux-середовища також спрощує інтеграцію з мережевими сервісами, базами даних та іншими компонентами системи.

З урахуванням вимог до продуктивності важливим є використання оптимізованих алгоритмів та, за необхідності, зменшення роздільної здатності оброблюваного відео або використання попередньо навчених легковагових моделей. Це дозволяє досягти балансу між точністю розпізнавання та швидкодією проєктованої МС.

2.3 Розробка структури проєктованої системи

У результаті аналізу предметної області та обґрунтування вибору апаратно-програмних засобів було розроблено структурну схему системи автоматичного розпізнавання номерних знаків транспортних засобів, яка враховує використання одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, цифрової камери та сучасних алгоритмів комп'ютерного зору.

Розроблена структура системи (рисунок 2.4) адаптована під сучасні програмно-орієнтовані рішення та вбудовані обчислювальні платформи, та містить наступні основні функціональні блоки:

– модуль формування відеоданих (Raspberry Pi HQ Camera);

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- модуль захоплення відеопотоку (Picamera2 / V4L2);
- обчислювальний модуль (Raspberry Pi);
- модуль попередньої обробки зображення (OpenCV);
- модуль детекції номерного знака (НМ або класичні методи);
- модуль сегментації символів;
- модуль розпізнавання символів (OCR або CNN);
- модуль зберігання та обробки результатів (БД);
- модуль відображення інформації (інтерфейс користувача).

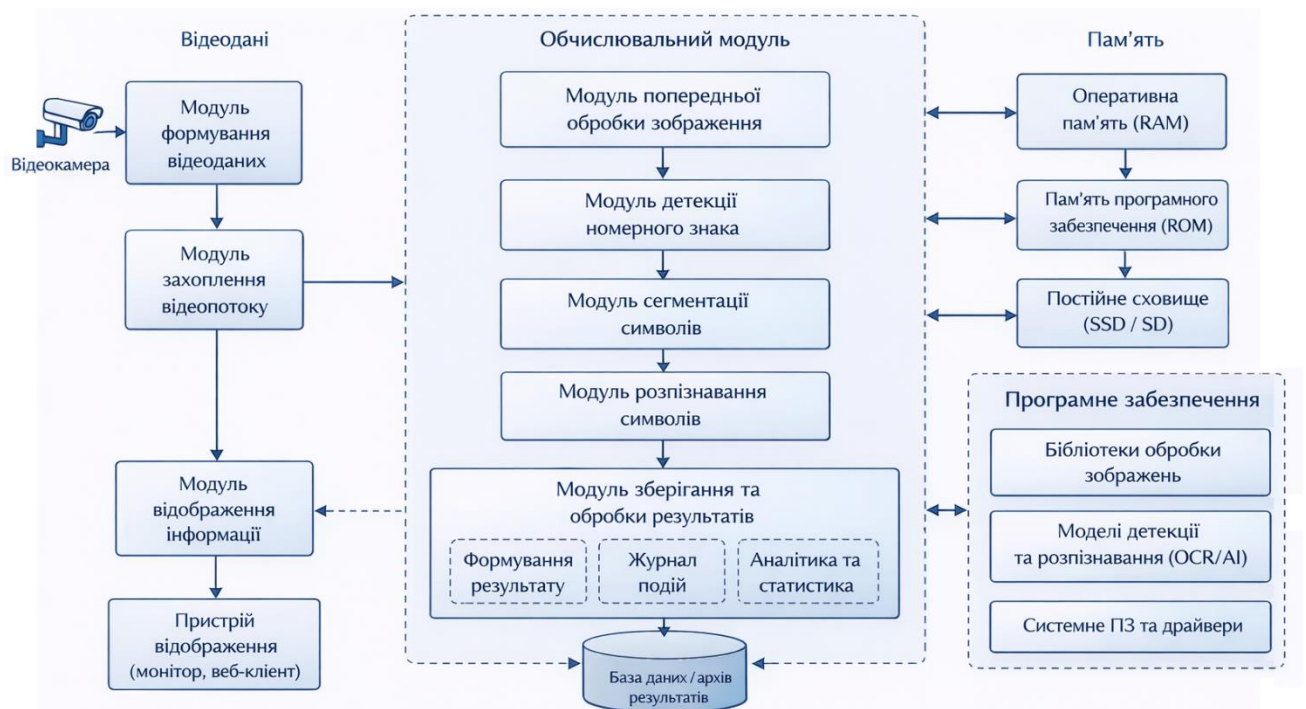


Рисунок 2.4 – Структура МС розпізнавання та ідентифікації НЗ

Основним джерелом отримання зображень проєктованої системи є відеокамера Raspberry Pi HQ Camera, яка входить до складу модуля формування відеоданих та здійснює захоплення зображення сцени. Сформований відеопотік передається до модуля захоплення відеопотоку, реалізованого із використанням бібліотеки Picamera2, що забезпечує ефективну взаємодію з камерою через інтерфейс CSI.

Обчислювальний модуль, реалізований на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, є центральним елементом системи. Тут виконуються основні алгоритми обробки зображень і розпізнавання. У складі даного модуля

функціонують також спеціалізовані підмодулі:

- модуль попередньої обробки зображення в якому за допомогою бібліотеки OpenCV здійснюється фільтрація шумів, нормалізація освітлення, корекція яскравості та контрастності, що дозволяє покращити якість зображення перед подальшою обробкою;
- модуль детекції НЗ забезпечує виявлення області, що містить реєстраційний номер, шляхом аналізу зображення із застосуванням алгоритмів комп'ютерного зору або НМ, зокрема моделі типу YOLO, оптимізовані для роботи на вбудованих пристроях;
- модуль сегментації символів здійснює поділ виділеної області НЗ на окремі символи, використовуючи методи аналізу зв'язних компонентів, проєкцій або контурного аналізу;
- модуль розпізнавання символів виконує ідентифікацію виділених символів із використанням OCR або ЗНМ, а отримані результати формуються у текстовий рядок, що відповідає ЗН ТЗ.

Отримані результати передаються до модуля зберігання та обробки результатів, де виконується формування кінцевого результату, ведення журналу подій та накопичення статистичної інформації. Дані зберігаються у БД або архіві результатів разом із додатковими параметрами, такими як дата, час та зображення.

Виведення результатів здійснюється за допомогою модуля відображення інформації, який забезпечує передачу даних на пристрій відображення (монітор або веб-інтерфейс) для подальшого аналізу користувачем.

Функціонування системи підтримується підсистемою пам'яті, яка включає оперативну пам'ять (RAM), пам'ять програмного забезпечення (ROM) та постійне сховище (SSD/SD), а також програмне забезпечення, що включає бібліотеки обробки зображень, моделі детекції та розпізнавання, і системні драйвери.

Розроблена структура МС розпізнавання НЗ завдяки модульній структурі система може бути адаптована до різних умов експлуатації та масштабована відповідно до вимог конкретного застосування. Система забезпечує реалізацію

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

повного циклу обробки відеоданих від захоплення зображення до отримання текстового представлення номерного знака з використанням сучасних апаратних та програмних засобів, що відповідають вимогам до вбудованих інтелектуальних систем.

Проектована МС може інтегруватися з СКД, де результати розпізнавання НЗ використовуються для автоматичного керування ВМ, такими як шлагбауми або ворота, що дозволяє реалізувати безконтактний доступ ТЗ на територію підприємств, паркінгів або закритих об'єктів (рисунок 2.5).

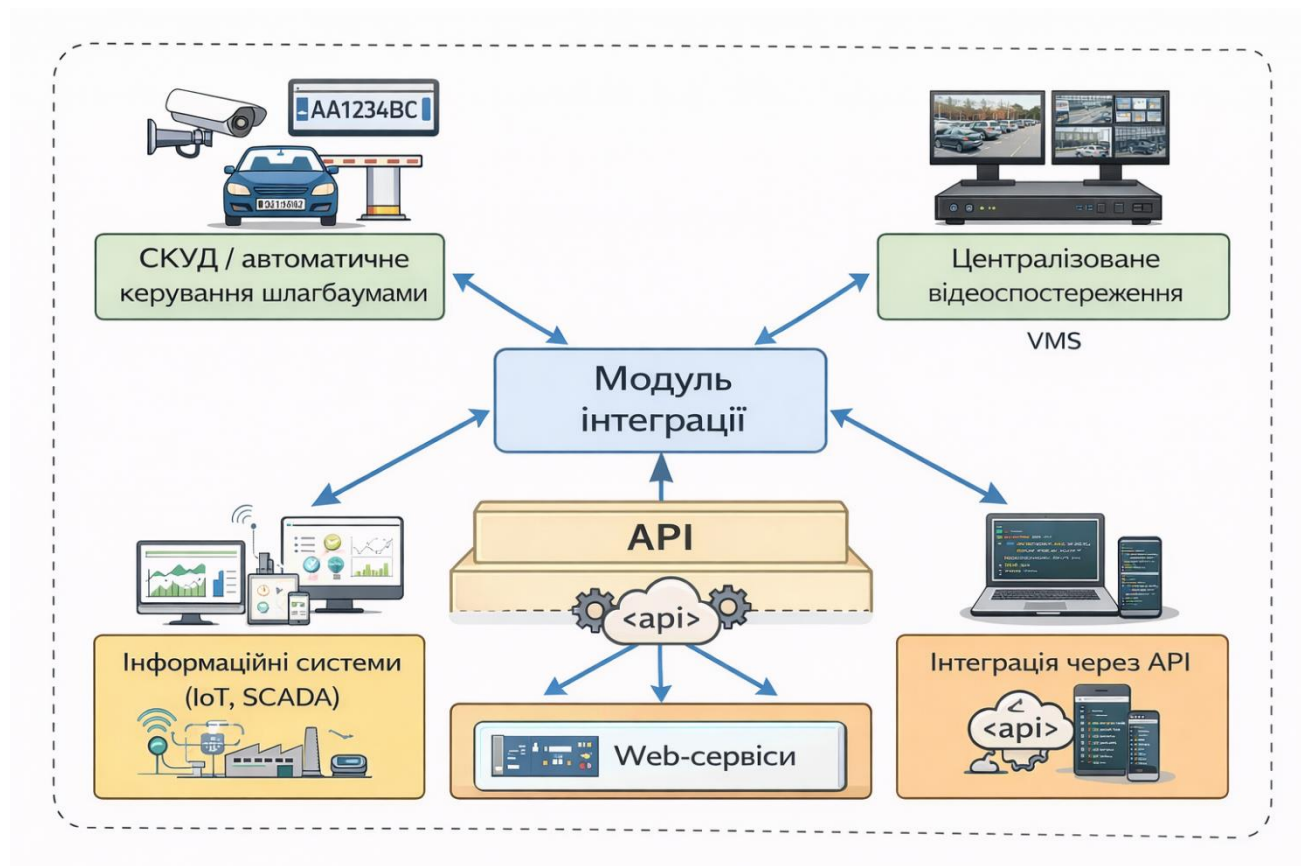


Рисунок 2.5 – Інтеграція МС розпізнавання НЗ у інформаційно-керуючі системи

Також передбачена можливість інтеграції з СВМ з метою забезпечення централізованого моніторингу подій, збереження відеоархіву та синхронізації даних розпізнавання з відеопотоком, що дозволить підвищити ефективність систем відеоспостереження та безпеки.

Система може взаємодіяти зі сторонніми інформаційними системами, зокрема SCADA або IoT-платформами, що дозволяє використовувати результати розпізнавання для автоматизації технологічних процесів, аналізу транспортних

потоків та прийняття управлінських рішень.

Крім того, завдяки реалізації API або веб-сервісів забезпечується можливість інтеграції з іншими програмними продуктами, мобільними застосунками або хмарними сервісами. Це дозволяє здійснювати віддалений доступ до результатів роботи системи, їх обробку та подальший аналіз.

Розроблена МС розпізнавання НЗ ТЗ є гнучкою та масштабованою, що дозволяє застосовувати її у різних сферах від локальних систем контролю доступу до комплексних рішень у рамках концепції «розумного міста».

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЄКТОВАНОЇ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ

3.1 Розробка алгоритму роботи мікроконтролерної системи

Алгоритм роботи МС автоматичного розпізнавання НЗ ТЗ (рисунок 3.1) визначає послідовність обробки відеоданих від моменту їх отримання до формування кінцевого результату у вигляді текстового представлення номерного знака.

Функціонування системи починається із захоплення зображення за допомогою камери. Відеопотік передається до програмного середовища, де здійснюється його обробка. Отримані кадри підлягають попередній обробці, що включає фільтрацію шумів, нормалізацію освітлення, підвищення контрастності та перетворення у формат, придатний для подальшого аналізу.

Після цього виконується детекція області номерного знака транспортного засобу. Для цього використовуються алгоритми комп'ютерного зору або нейромережеві моделі, які дозволяють визначити координати області, що містить номер.

Виділена область номерного знака передається до етапу сегментації, де здійснюється поділ зображення на окремі символи. Сегментація виконується із застосуванням методів аналізу зв'язних компонентів, проекцій або контурного аналізу.

Далі кожен символ обробляється у модулі розпізнавання, де за допомогою OCR (Tesseract) або згорткових нейронних мереж визначається його значення. Результати розпізнавання об'єднуються у текстовий рядок, що відповідає номерному знаку транспортного засобу.

На завершальному етапі сформований результат передається до підсистеми зберігання, де він записується у базу даних разом із супутньою інформацією (дата, час, зображення). Одночасно результат може бути відображений користувачу через відповідний інтерфейс.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

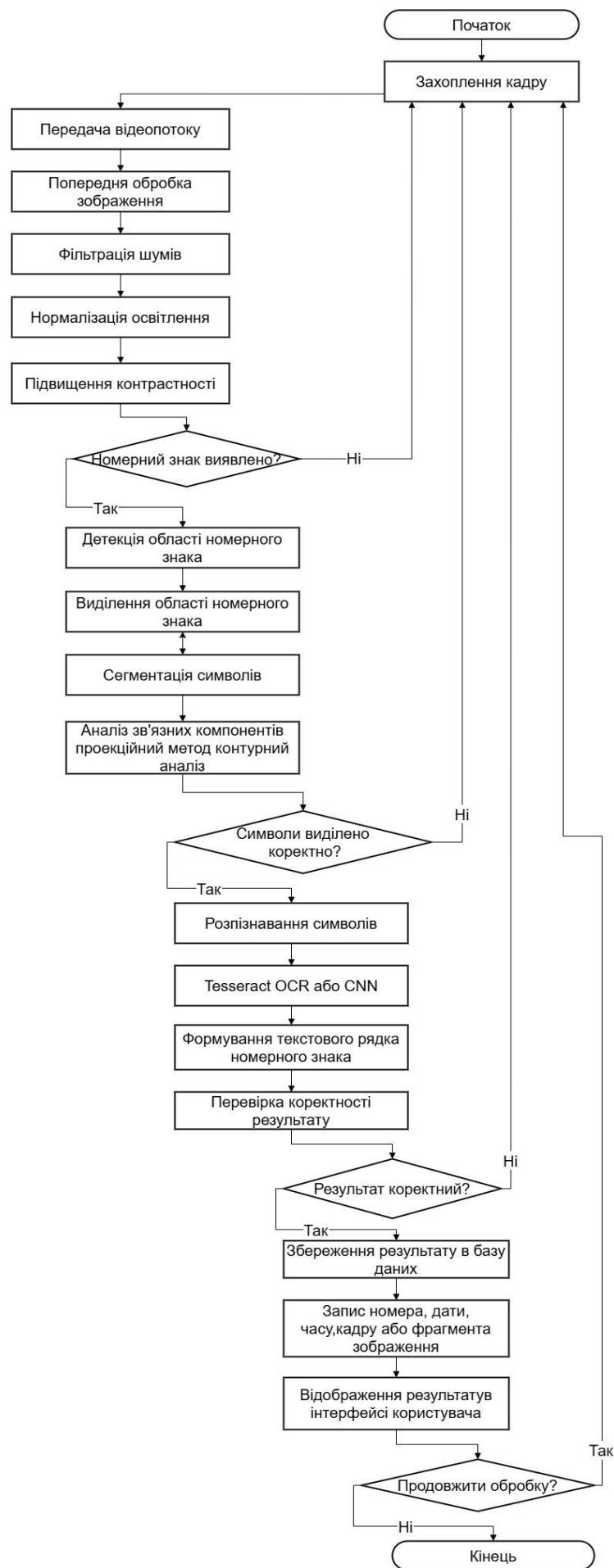


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму роботи МС

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ

Арк.

36

На початковому етапі здійснюється захоплення кадру з відеокамери Raspberry Pi HQ Camera та передача зображення до програмного середовища засобами бібліотеки Picamera2. Далі виконується попередня обробка зображення в OpenCV, після чого реалізуються детекція області НЗ, сегментація символів і їх розпізнавання за допомогою Tesseract OCR або ЗНМ. Після перевірки коректності результату здійснюється його збереження в БД та відображення в інтерфейсі користувача.

3.2 Програмна реалізація проєктованої системи

Програмне забезпечення МС розпізнавання та ідентифікації НЗ ТЗ розроблено з урахуванням вимог до роботи на вбудованій платформі Raspberry Pi та забезпечення обробки відеоданих у РМЧі. Основною задачею програмної реалізації є організація взаємодії між апаратними компонентами системи, модулями обробки зображень, алгоритмами розпізнавання та засобами збереження й відображення результатів.

Програмна частина системи реалізована мовою Python, що обумовлено її широкими можливостями у сфері комп'ютерного зору, наявністю бібліотек для роботи з камерою Raspberry Pi, а також підтримкою сучасних засобів машинного навчання. Для захоплення відеопотоку з камери Raspberry Pi HQ Camera використовується бібліотека Picamera2, яка забезпечує стабільну роботу з CSI-камерою та передачу кадрів до програмного середовища.

Основним інструментом для попередньої обробки зображень є бібліотека OpenCV. За її допомогою реалізуються операції фільтрації, нормалізації освітлення, підвищення контрастності, перетворення кольорового простору, бінаризації та виділення необхідних областей зображення. Такі операції формують основу для подальшої детекції та розпізнавання.

Для локалізації області номерного знака у програмному забезпеченні можуть використовуватися як класичні алгоритми аналізу зображень, так і нейромережеві методи, зокрема моделі типу YOLO. Використання нейромережевого підходу дозволяє підвищити точність детекції в умовах

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

складного фону, зміни освітлення та геометричних спотворень. Після виділення номерної пластини виконується сегментація символів, яка може бути реалізована із застосуванням аналізу зв'язних компонентів, проєкційних методів або контурного аналізу.

Для розпізнавання символів використовується OCR-модуль Tesseract або легковагова згорткова нейронна мережа, адаптована до задачі класифікації символів номерного знака. Отримані результати обробляються програмним модулем формування рядка, який виконує збирання символів у єдине текстове представлення реєстраційного номера.

У програмному забезпеченні також реалізовано модуль збереження результатів, який забезпечує запис розпізнаного номера, часу фіксації та супровідного зображення до бази даних або файлового архіву. Це дозволяє виконувати подальший пошук, перегляд і аналіз отриманих результатів.

Для взаємодії з користувачем передбачено модуль відображення інформації, який забезпечує виведення відеозображення, області локалізованого номерного знака та результатів розпізнавання. У спрощеному варіанті така взаємодія може бути реалізована у вигляді консольного інтерфейсу або віконного застосунку, а в розширеному через веб-інтерфейс.

Структурно СПЗ системи доцільно поділити на окремі функціональні модулі (рисунк 3.2):

- модуль захоплення відеоданих,
- модуль попередньої обробки зображень,
- модуль детекції номерного знака,
- модуль сегментації символів,
- модуль розпізнавання символів,
- модуль збереження результатів та модуль взаємодії з користувачем.

Модульний принцип побудови дає можливість розділити функції системи. Такий підхід спрощує супровід програмного коду, розширення функціональних можливостей системи та заміну окремих алгоритмів без зміни всієї архітектури.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

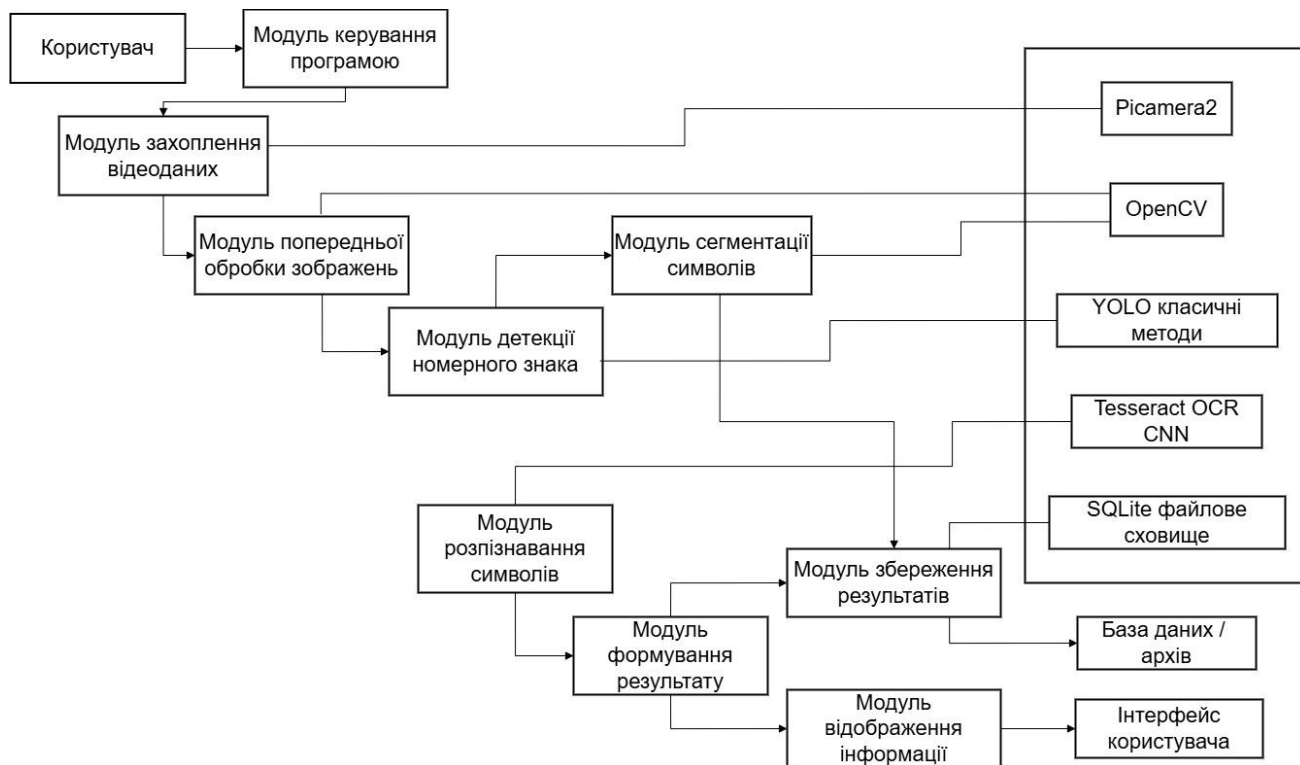


Рисунок 3.2 – Структурна схема ПЗ системи

Наведена схема відображає взаємодію основних програмних модулів системи. Центральним елементом є модуль керування програмою, який координує захоплення відеоданих, попередню обробку зображень, детекцію області номерного знака, сегментацію та розпізнавання символів, а також формування, збереження і відображення результатів.

У практичній реалізації структура програмного проєкту ти організована у вигляді окремих файлів і каталогу modules(рисунок 3.3).

```

project/
├── main.py
├── config.py
├── requirements.txt
├── plates.db
├── modules/
│   ├── camera.py
│   ├── preprocessing.py
│   ├── detection.py
│   ├── segmentation.py
│   ├── recognition.py
│   ├── database.py
│   └── display.py
  
```

Рисунок 3.3 – Структура проєкту

Файл main.py виконує функцію головного керуючого модуля та координує взаємодію між усіма підсистемами. У файлі config.py зосереджені основні параметри конфігурації. Каталог modules містить функціональні програмні модулі, що відповідають структурним блокам системи.

Для реалізації основних функцій системи на початковому етапі реалізації здійснюється підключення необхідних бібліотек, які забезпечують обробку зображень, розпізнавання тексту та роботу з базою даних:

```
import cv2
import numpy as np
import pytesseract
import sqlite3
from datetime import datetime
```

Для використання нейромережових моделей:

```
from ultralytics import YOLO    # Детекція номерного знака (YOLO)
```

Бібліотека OpenCV використовується для роботи з відеопотоком і обробки зображень, NumPy для обчислювальних операцій, pytesseract забезпечує реалізацію оптичного розпізнавання символів, а sqlite3 збереження результатів роботи системи.

У файлі config.py доцільно зберігати основні параметри програмної системи:

```
CAMERA_SIZE = (1280, 720)
DISPLAY_SIZE = (1280, 720)
DB_PATH = "plates.db"

# Український алфавіт номерних знаків
UA_PLATE_CHARS = "ABCENIKMORTX0123456789"

TESSERACT_CONFIG = f"--psm 8 -c tesseract_char_whitelist={UA_PLATE_CHARS}"

MIN_PLATE_WIDTH = 100
MIN_PLATE_HEIGHT = 30
```

Наведений фрагмент реалізує програмний модуль формування відеоданих і модуль захоплення відеопотоку. Кадр зчитується у вигляді масиву, придатного для подальшої обробки засобами OpenCV.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Модуль захоплення відеопотоку реалізує отримання даних із відеокамери та передачу їх на подальшу обробку:

```
def capture_video():
    cap = cv2.VideoCapture(0)
    while True:
        ret, frame = cap.read()
        if not ret:
            break
        yield frame
    cap.release()
```

Отриманий відеокадр надходить до модуля попередньої обробки, де виконується його нормалізація та підготовка до подальшого аналізу. Модуль preprocessing.py виконує перетворення кольорового зображення у відтінки сірого, згладжування та бінаризацію. Ці операції необхідні для зменшення впливу шумів і підвищення якості виділення області номерного знака.

```
def preprocess_image(frame):
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    blur = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)
    binary = cv2.adaptiveThreshold(
        blur, 255,
        cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C,
        cv2.THRESH_BINARY,
        11, 2
    )
    return gray, blur, binary
```

У результаті виконання функції формується набір представлень кадру, які можуть використовуватись у різних наступних модулях.

Після попередньої обробки виконується детекція області НЗ. У найпростішому випадку для цього використовується аналіз контурів зображення:

```
def detect_plate(frame):
    edges = cv2.Canny(frame, 100, 200)
    contours, _ = cv2.findContours(edges, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    for cnt in contours:
        x, y, w, h = cv2.boundingRect(cnt)
        if w > 100 and h > 30:
            plate = frame[y:y+h, x:x+w]
            return plate
    return None
```

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Модуль detection.py реалізує локалізацію області номерної пластини. Для академічної роботи доцільно навести приклад класичного підходу на основі контурного аналізу, оскільки він є зрозумілим з точки зору пояснення логіки функціонування системи.

```
def detect_plate(binary_image, original_frame):
    contours, _ = cv2.findContours(
        binary_image, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE
    )
    candidate = None
    for cnt in contours:
        x, y, w, h = cv2.boundingRect(cnt)
        ratio = w / float(h) if h != 0 else 0

        if w > MIN_PLATE_WIDTH and h > MIN_PLATE_HEIGHT and 2.0 < ratio < 6.5:
            candidate = original_frame[y:y+h, x:x+w]
            break
    return candidate
```

Виділена область номерного знака передається до модуля сегментації, segmentation.py виконує поділ зображення номерної пластини на окремі символи. Це може бути реалізовано за допомогою бінаризації та пошуку зв'язних компонентів який здійснює розбиття зображення на окремі символи.

```
def segment_characters(plate_image):
    gray = cv2.cvtColor(plate_image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    thresh = cv2.threshold(gray, 0, 255, cv2.THRESH_BINARY_INV + cv2.THRESH_OTSU)[1]
    contours, _ = cv2.findContours(
        thresh, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE
    )
    chars = []
    for cnt in contours:
        x, y, w, h = cv2.boundingRect(cnt)
        if 15 < h < 100 and 5 < w < 60:
            char_img = thresh[y:y+h, x:x+w]
            chars.append((x, char_img))
    chars = sorted(chars, key=lambda item: item[0])
    return [c[1] for c in chars]
```

На наступному етапі модуль recognition.py виконує ОРС НЗ. Для цього використовується OCR-засіб Tesseract, який дозволяє перетворити графічне представлення номерного знака у текстовий рядок. Додатково використовується фільтрація результату для вилучення службових символів і шумових артефактів розпізнавання:

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

import pytesseract
from config import TESSERACT_CONFIG

def recognize_plate(plate_image):
    gray = cv2.cvtColor(plate_image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    text = pytesseract.image_to_string(gray, config=TESSERACT_CONFIG)
    text = "".join(ch for ch in text if ch.isalnum())
    return text

def recognize_plate(plate):
    text = pytesseract.image_to_string(plate, config='--psm 8')
    return text.strip()

```

Результати розпізнавання передаються до модуля зберігання. Модуль database.py забезпечує ініціалізацію БД і запис отриманих результатів. Для локальної системи на Raspberry Pi доцільно використовувати SQLite, що не потребує окремого серверного середовища.

```

import sqlite3
from datetime import datetime
from config import DB_PATH

def init_db():
    conn = sqlite3.connect(DB_PATH)
    cur = conn.cursor()
    cur.execute("""
        CREATE TABLE IF NOT EXISTS plates (
            id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
            plate_text TEXT NOT NULL,
            created_at TEXT NOT NULL
        )
    """)
    conn.commit()
    conn.close()

def save_plate(plate_text):
    conn = sqlite3.connect(DB_PATH)
    cur = conn.cursor()
    cur.execute(
        "INSERT INTO plates (plate_text, created_at) VALUES (?, ?)",
        (plate_text, datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S"))
    )
    conn.commit()
    conn.close()

```

Даний модуль реалізує підсистему журналювання подій і накопичення результатів розпізнавання.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для реалізації взаємодії з користувачем використовується модуль відображення результатів display.py, що забезпечує візуалізацію результатів роботи системи на екрані оператора:

```
def show_result(frame, plate_text):
    cv2.putText(
        frame,
        f"Plate: {plate_text}",
        (30, 40),
        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
        1,
        (255, 0, 0),
        2
    )
    cv2.imshow("License Plate Recognition System", frame)
```

У графічному вікні користувач отримує кадр із нанесеним розпізнаним номером, що відповідає модулю відображення інформації структурної схеми.

Узагальнення роботи всіх модулів реалізується у головному керуючому модулі, який забезпечує послідовне виконання всіх етапів обробки:

```
def main():
    init_db()

    for frame in capture_video():
        processed = preprocess_image(frame)

        plate = detect_plate(processed)
        if plate is not None:
            text = recognize_plate(plate)

            if text:
                save_result(text)
                display(frame, text)

        if cv2.waitKey(1) & 0xFF == 27:
            break

    cv2.destroyAllWindows()

if __name__ == "__main__":
    main()
```

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Головний модуль main.py реалізує послідовність, що відповідає функціональній логіці системи: захоплення кадру, попередня обробка, детекція номерного знака, розпізнавання, збереження та відображення результату. Таким чином, програмна архітектура узгоджується зі структурною та функціональною схемами системи. Лістинг керуючого модуля наведено в додатку А.

Модульна структура СПЗ дозволяє масштабувати і модернізувати окремі компоненти, зокрема замінювати алгоритми детекції або розпізнавання без зміни загальної логіки функціонування системи.

3.3 Дослідження ефективності роботи розробленої системи

Для оцінювання ефективності функціонування розробленої МС розпізнавання та ідентифікації НЗ було проведено експериментальне дослідження її роботи в умовах, наближених до реальних з використанням тестової вибірки. Метою дослідження є визначення точності виявлення номерної пластини, якості розпізнавання символів, а також швидкодії системи при обробці відеоданих.

Експериментальна перевірка виконувалася відповідно до функціональної структури системи, яка включає модулі формування відеоданих, захоплення відеопотоку, попередньої обробки, детекції НЗ, сегментації символів, розпізнавання та збереження результатів. Такий підхід дозволяє оцінити як загальну ефективність системи, так і вплив окремих етапів обробки на кінцевий результат

Експериментальне дослідження проводилось на вибірці зображень транспортних засобів із різними умовами зйомки. Для кожного зображення вручну визначався еталонний номерний знак, з яким порівнювався результат роботи системи.

Вибірка була розділена на декілька груп відповідно до умов отримання зображень:

- при нормальному освітленні;
- при зниженому освітленні;

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- при наявності геометричних спотворень (нахилу номерного знака);
- при наявності шумів або розмиття.

Такий розподіл дозволяє оцінити стійкість системи до типових умов експлуатації. Характеристики тестової вибірки, що була використана наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика тестової вибірки

Група тестових даних	Кількість кадрів	Умови зйомки
Група 1	30	Добре освітлення, фронтальний ракурс
Група 2	30	Знижене освітлення
Група 3	20	Нахил номерного знака
Група 4	20	Наявність шумів / розмиття
Разом	100	

Для аналізу ефективності роботи системи використовувались такі показники:

- точність детекції НЗ на кадрі;
- точність розпізнавання символів;
- частка повністю правильно розпізнаних НЗ;
- середній час обробки одного кадру;
- продуктивність системи у кадрах за секунду.

Додатково аналізувався вплив зовнішніх факторів, зокрема рівня освітленості, кута розташування ТЗ відносно камери та відстані до об'єкта спостереження.

Точність детекції визначалась як відношення кількості правильно локалізованих НЗ до загальної кількості тестових кадрів. Точність розпізнавання оцінювалась як частка кадрів, у яких система коректно визначила текст НЗ. Швидкодія системи визначалася як середній час від моменту отримання кадру до формування текстового результату.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

На рисунку 3.4 наведено приклад роботи системи на тестовому кадрі, зокрема вихідне зображення ТЗ, виділену область НЗ та результат його розпізнавання.



Рисунок 3.4 – Приклад роботи системи

В таблиці 3.2 наведено фрагмент результатів роботи системи.

Таблиця 3.2 –Результати роботи системи розпізнавання та ідентифікації

№	Еталонний номер	Розпізнаний номер	Статус	Час обробки, с
1	AB1234CD	AB1234CD	правильно	0,17
2	BC5678AE	BC5678AE	правильно	0,19
3	KA4321BM	KA4321BN	помилка (1 символ)	0,18
4	CE1111AX	CE1111AX	правильно	0,16
5	VX9090HH	VX9090HH	правильно	0,20
6	AX0001OP	AX0001OP	помилка (OCR)	0,19
7	HM7777KT	HM7777KT	правильно	0,18
8	BO2468CH	BO2468CH	правильно	0,17
9	AI1357MP	AI135TMP	помилка (символ)	0,21
10	OP2222KA	OP2222KA	правильно	0,18

Аналіз отриманих даних показує, що основні помилки виникають на етапі ОРС і пов'язані з подібністю окремих символів, зокрема «0» та «О», «1» і «І», «В» та «8». Крім того, на точність розпізнавання впливають такі фактори, як нерівномірне освітлення, наявність шумів та низька роздільна здатність зображення. Водночас більшість НЗ розпізнається коректно, що підтверджує ефективність запропонованого підходу.

У результаті проведеного експерименту було отримано узагальнені показники ефективності роботи системи, що наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати оцінювання ефективності роботи системи

Показник	Значення
Точність детекції номерної пластини	92 %
Точність розпізнавання символів	88 %
Частка повністю правильно розпізнаних номерів	84 %
Середній час обробки одного кадру	0,18 с
Продуктивність системи	5,6 кадр/с

При зменшенні освітленості або збільшенні кута нахилу номерної пластини точність детекції та розпізнавання знижується, що пояснюється погіршенням контрастності зображення та виникненням геометричних спотворень. Разом з тим, застосування попередньої обробки зображення та постобробки результатів OCR дозволяє підвищити достовірність розпізнавання і зменшити кількість помилок.

Аналіз результатів показує, що система забезпечує достатньо високу точність детекції номерних знаків. При цьому загальна точність розпізнавання дещо нижча, що пов'язано з помилками ОРС на етапі розпізнавання символів.

Для більш детального аналізу було досліджено вплив різних умов зйомки на якість роботи системи. Показники впливу умов зйомки на точність розпізнавання наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вплив умов зйомки на точність розпізнавання

Умови	Точність детекції, %	Точність розпізнавання, %
Добре освітлення	96	93
Знижене освітлення	88	81
Нахил номерного знака	90	84
Шуми / розмиття	84	78

На рисунку 3.5 наведено графічну інтерпретацію залежності точності розпізнавання від умов зйомки.

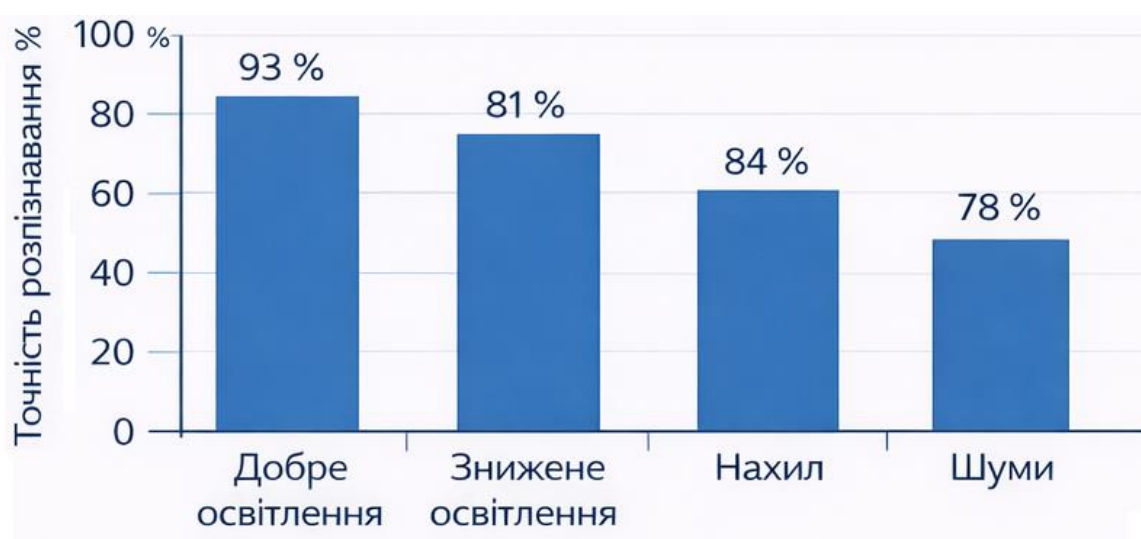


Рисунок 3.5 – Залежність точності розпізнавання від умов зйомки

З отриманих результатів видно, що найкраща ефективність системи досягається при достатньому освітленні та відсутності геометричних спотворень за рахунок фронтального розташування ТЗ відносно камери. При погіршенні умов зйомки точність детекції та розпізнавання знижується, що пояснюється зменшенням контрастності зображення та появою додаткових шумів.

Також було досліджено час виконання основних етапів обробки кадру, результати якого наведено на рисунку 3.6. З рисунка видно, що найбільший внесок у загальний час обробки кадру вносять етапи попередньої обробки та розпізнавання символів. Це пояснюється значною кількістю обчислень, необхідних для фільтрації зображення та роботи алгоритму ОРС.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49



Рисунок 3.6 – Час обробки кадру за етапами

Проведене дослідження показало, що розроблена МС розпізнавання та ідентифікації НЗ забезпечує достатній рівень точності та швидкодії для використання у задачах автоматизованого контролю транспортних засобів. Найкращі результати досягаються при сприятливих умовах зйомки, тоді як зниження освітленості, наявність шумів та геометричних спотворень негативно впливають на ефективність роботи системи.

Отримані результати підтверджують доцільність використання запропонованої структури системи та обраних алгоритмів обробки зображень. При цьому для подальшого підвищення ефективності доцільним є вдосконалення алгоритму детекції номерної пластини, розширення тестової вибірки та використання більш стійких моделей розпізнавання в умовах складного фону і змінного освітлення. Отримані результати підтверджують працездатність розробленої системи та можливість її використання у складі СКД або локальних систем моніторингу ТЗ.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто поставленої мети, яка полягала у розробці МС розпізнавання та ідентифікації НЗ ТЗ на основі сучасних методів обробки зображень.

Проведено аналіз існуючих методів і засобів розпізнавання НЗ ТЗ. Розглянуто основні сфери застосування САРНЗ. Проаналізовано принципи функціонування таких систем і визначено їх ключові компоненти. Проаналізовано методи обробки зображень і розпізнавання символів, включаючи класичні алгоритми комп'ютерного зору та сучасні підходи, що базуються на використанні нейронних мереж.

Виконано обґрунтування вибору апаратних і програмних засобів для реалізації проєктованої системи. Визначено основні фактори, що впливають на ефективність розпізнавання та ідентифікацію НЗ, зокрема освітленість, якість зображення, кут спостереження та наявність шумів. На основі проведеного аналізу обрано апаратну платформу Raspberry Pi, яка забезпечує достатній рівень обчислювальної потужності при невисокій вартості та компактності. Обґрунтовано вибір джерела відеоданих та програмних компонентів, зокрема бібліотек комп'ютерного зору та засобів OPC. Розроблено структурну схему системи, яка відображає взаємодію її основних функціональних модулів.

Розроблено алгоритм функціонування МС розпізнавання та ідентифікації НЗ, який включає послідовні етапи захоплення відеопотоку, попередньої обробки зображення, детекції номерної пластини, сегментації символів, розпізнавання та збереження результатів.

На основі розробленого алгоритму виконано програмну реалізацію системи з використанням модульного підходу, що забезпечує гнучкість, масштабованість і можливість подальшого вдосконалення.

Проведено дослідження ефективності роботи розробленої системи, виконано її тестування на вибірці зображень, що відповідають різним умовам зйомки. Отримані результати показали, що система забезпечує достатньо високий рівень точності детекції та розпізнавання НЗ, а також прийнятну

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

швидкодiю для використання у реальних умовах. Встановлено, що найбільший вплив на ефективнiсть роботи системи мають умови освiтлення, наявнiсть шумiв та геометричнi спотворення зображення. Разом з тим, застосування попередньої обробки та постобробки результатiв дозволяє зменшити кiлькiсть помилок i пiдвищити достовiрнiсть розпiзнавання.

Отриманi результати пiдтверджують можливiсть практичного застосування розробленої системи у задачах автоматизованого контролю та iдентифiкацiї ТЗ.

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматичне розпізнавання номерних знаків (ANPR) – огляд AN. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://uk.shaip.com/blog/automatic-number-plate-recognition-anpr/>
2. Система контролю та управління доступом автомобілів. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://kobi.ua/solutions/dlya-avtomobiliv>
3. Аналітичні модулі. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.inni.tech/moduli-analitiki>
4. Розпізнавання автомобільних номерних знаків. [Електронний ресурс].- Режим доступу: ANPR – ключовий елемент розумного міста <https://tvtdigital.com.ua/rozpiznavannia-avtomobilnykh-nomernykh-znakiv-anpr-kliuchovyy-element-rozumnoho-mista>
5. Технологія ANPR (розпізнавання автомобільних знаків) у камерах Dahua. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://dnepsecurity.com/statji/tehnologija-anpr--raspoznavanie-avtomobilnih-znakov--v-kamerah-dahua.html>
6. Swanand J., Pramod J., Chatrasal J., Vishal J. (2024). Automatic Number Plate Recognition. International Journal of Scientific Research in Science and Technology. 11. 439-448. 10.32628/IJSRST2411476.
7. Ditta A., Ahmed M. M., Mazhar T., Shahzad T., Alahmed Y., Hamam H. Number plate recognition smart parking management system using IoT, Sensors, Volume 37, 2025, 101409, <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101409>.
8. Охоронні системи. Розпізнавання автономерів. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://guard-lviv.com.ua/rozpiznavannia-avtonomeriv>
9. Lubna, Mufti N., Shah S.A.A. Automatic Number Plate Recognition:A Detailed Survey of Relevant Algorithms. Sensors (Basel). 2021 Apr 26;21(9):3028. doi: 10.3390/s21093028. PMID: 33925845; PMCID: PMC8123416.
10. Автоматичне розпізнавання автономерів з відеоаналітики. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.verna.ua/videoanalytics/license-plate-recognition>

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

11. What is ANPR (Automatic Number-Plate Recognition)?. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.isarsoft.com/knowledge-hub/anpr>
12. Boselin P., Balakumar N., Johnson A. (2017). A Research on Smart Transportation Using Sensors and Embedded Systems. International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology. 5. 198-202. 10.21276/ijircst.2017.5.1.5.
13. Tang J., Wan L., Schooling J., Zhao P., Chen J., Wei S. Automatic number plate recognition (ANPR) in smart cities: A systematic review on technological advancements and application cases, Cities, Volume 129, 2022, 103833, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103833>.
14. Gupta D., Khan B., Agarwal A. License Plate Recognition: A Brief Overview. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET). 2023. Vol. 11, Iss. 11. P. 1386–1390. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.56644>
15. Ківа А. О., Коваленко С. М. Пайплайн методів обробки зображень у системах розпізнавання номерних знаків. Інформаційні технології і автоматизація – 2024 : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, жовт. 2024 р.). Одеса : Одеський національний технологічний університет, 2024.
16. Придятько Д.Р. Огляд методів розпізнавання об'єктів за допомогою систем технічного зору. Automation and Development of Electronic Devices ADED-2023, 2023, с.7-11.
17. Могилевич Д.І., Хміль Р.В. Аналіз методів розпізнавання образів на основі нейронних мереж. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 34 (73) № 5 202. С. 46-52. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.5/09>
18. Топ технологій розпізнавання зображень. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://wezom.com.ua/ua/blog/top-tehnologiy-rozpiznavannya-zobrazhen-u-2025>
19. Що таке OCR (оптичне розпізнавання символів) – визначення, переваги, проблеми та випадки використання. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://uk.shaip.com/blog/ocr-definition-benefits-challenges-and-use-cases->

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

infographic

20. Moussaoui, H., Akkad, N.E., Benslimane, M. et al. Enhancing automated vehicle identification by integrating YOLO v8 and OCR techniques for high-precision license plate detection and recognition. Sci Rep 14, 14389 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65272-1>

21. Huynh, A.K., Le, T.D., Huynh, K.T. (2023). License Plate Detection and Recognition Using CRAFT and LSTM. In: Braubach, L., Jander, K., Bădică, C. (eds) Intelligent Distributed Computing XV. IDC 2022. Studies in Computational Intelligence, vol 1089. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29104-3_31

22. Raspberry Pi 4 Model B. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>

23. Arduino Uno Rev3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>

24. NVIDIA Jetson Nano Developer Kit. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>

25. Raspberry Pi. About the Camera Modules. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera>

26. OpenCV. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opencv.org/>

27. Using the Picamera2 library with TensorFlow Lite. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.com/news/using-the-picamera2-library-with-tensorflow-lite>

28. The Picamera2 Library. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pip-assets.raspberrypi.com/categories/652-raspberry-pi-camera-module-2/documents/RP-008156-DS-2-picamera2-manual.pdf>

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

Програмна реалізація керуючого модуля

```

import cv2
import time
from modules.camera import CameraModule
from modules.preprocessing import preprocess_image
from modules.detection import detect_plate
from modules.recognition import recognize_plate
from modules.database import init_db, save_plate
from modules.display import show_result
from modules.postprocessing import postprocess_plate_text
def main():
    init_db()
    camera = CameraModule()
    try:
        while True:
            frame = camera.get_frame()
            if frame is None:
                continue
            start_time = time.time()
            gray, blur, binary = preprocess_image(frame)
            plate = detect_plate(binary, frame)
            if plate is not None:
                raw_text = recognize_plate(plate)
                result = postprocess_plate_text(raw_text)
                if result["valid"]:
                    save_plate(result["storage"])
                    show_result(frame, result["display"])
                else:
                    cv2.imshow("License Plate Recognition System", frame)
            else:
                cv2.imshow("License Plate Recognition System", frame)
            # час обробки
            processing_time = time.time() - start_time
            cv2.putText(frame, f"{processing_time:.3f}s", (10, 30),
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 255, 0), 2)
            if cv2.waitKey(1) & 0xFF == 27:
                break
    finally:
        camera.release()
        cv2.destroyAllWindows()
if __name__ == "__main__":
    main()

```

					ДП.АКІТ.10994342.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56