

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

ПАСТЕРНАК Віктор Мирославович

**Програмний додаток детекції та розпізнавання
автомобільних знаків / The software application for detection
and recognition of road signs**

спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія
освітньо-професійна програма – Комп'ютерна інженерія

Кваліфікаційна робота

Виконав: студент групи КІ-42
Пастернак В. М.

Науковий керівник
к.т.н., Батько Ю.М.

Кваліфікаційну роботу

Допущено до захисту

«___» _____ 20__ р.

Завідувач кафедри

_____ О.М. Березький

ТЕРНОПІЛЬ - 2021

РЕЗЮМЕ

Кваліфікаційна робота містить 77 сторінок пояснюючої записки, 14 рисунків, 12 таблиць, 2 додатки. Обсяг графічного матеріалу 2 аркуші формату А3.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та розробка алгоритмів детекції та розпізнавання об'єктів дорожніх знаків на цифрових зображеннях.

Методи досліджень базуються на теорії алгоритмів (для аналізу розроблених методів та алгоритмів), алгоритмах сегментації (для виділення областей інтересу), алгоритмів розпізнавання (для класифікації дорожніх знаків) технологій структурного та об'єктно-орієнтованого програмування (для розробки системи обробки зображень).

В кваліфікаційній роботі на основі аналізу виділення на зображеннях областей з відомими характеристиками проводиться пошук та класифікація дорожніх знаків. В якості відповідних характеристик обрано форму контурної функції та кольорове забарвлення, що в поєднанні дозволяє виділити область з дорожнім знаком з високою точністю. Для прийняття рішення про віднесення деякого об'єкту до відповідного класу здійснюється порівняння з еталонними зображеннями. При рівності оцінки подібності проводиться додатковий аналіз внутрішніх частин виділених областей.

Проведено тестування розробленої системи на тестовій вибірці цифрових зображень, що підтвердило доцільність поєднання алгоритмів сегментації та розпізнавання на основі еталонів для класифікації об'єктів.

Розроблений програмний продукт є ефективним засобом з простим інтерфейсом, що дозволяє вирішувати проблему виділення та кластеризації дорожніх знаків на цифрових зображеннях.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ, РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, КОНТУРНИЙ АНАЛІЗ, ЕТАЛОННІ ЗОБРАЖЕННЯ.

RESUME

Diploma project contains 77 pages of explanatory notes, 14 pictures, 12 tables, 2 additions. Volume of graphic material 2 leaves of format A3.

The aim of the thesis is to study and develop algorithms for detection and recognition of road sign objects in digital images.

Research methods are based on the theory of algorithms (for analysis of developed methods and algorithms), segmentation algorithms (for highlighting areas of interest), recognition algorithms (for classification of road signs) of structural and object-oriented programming technologies (for developing image processing systems).

In the thesis on the basis of the analysis of selection on the images of areas with known characteristics the search and classification of road signs is carried out. The shape of the contour function and color coloring are chosen as the corresponding characteristics, which in combination allows to select the area with the road sign with high accuracy. In order to decide whether to assign an object to the appropriate class, a comparison is made with the reference images. If the similarity assessment is equal, an additional analysis of the internal parts of the selected areas is performed.

The developed system was tested on a test sample of digital images, which confirmed the feasibility of combining segmentation and recognition algorithms based on standards for object classification.

The developed software product is an effective tool with a simple interface that allows you to solve the problem of selection and clustering of road signs on digital images.

KEYWORDS: IMAGE SEGMENTATION, IMAGE RECOGNITION, CONTOUR ANALYSIS, REFERENCE IMAGES.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Виділення та розпізнавання дорожніх знаків в системах управління транспортними засобами	12
1.1 Цифрові зображення та їх класифікація.....	12
1.2 Технології виділення та розпізнавання дорожніх знаків.....	15
1.3 Програмні засоби виділення та детекції дорожніх знаків	24
1.4 Постановка задач кваліфікаційної роботи та шляхи її вирішення.....	26
2. Алгоритми виділення та розпізнавання зображень дорожніх знаків.....	27
2.1 Алгоритми сегментації кольорових цифрових зображень	27
2.2 Алгоритми розпізнавання об'єктів на цифрових зображеннях.....	32
2.3 Алгоритм розпізнавання та класифікації дорожніх знаків.....	36
3. Програмна система виділення та класифікації зображень дорожніх знаків...	40
3.1 Структура автоматизованої системи аналізу зображень	40
3.2 Підсистеми аналізу цифрових зображень	46
3.3 Тестування модуля ідентифікації об'єктів на цифрових зображеннях	51
4 Техніко-економічний розділ.....	53
4.1 Розрахунок витрат на розробку програмного додатку	53
4.2 Визначення експлуатаційних витрат	58
4.3 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень	62
Висновки.....	64
Список використаних джерел.....	65
Додаток А Вихідний текст функції виділення областей інтересу.....	69
Додаток Б Світлокопія виданої публікації	75

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Пастернак В.М.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Батько Ю.М.			8	77	
Консульт.					ЗУНУ,ННІНОТ, КІз-41		
Н. Контр.		Мельник Г.М.					
Затвердив		Березький О.М.					

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КС	–	Комп'ютерна система
БД		База даних
ІІ	–	Штучний інтелект
ЦЗ	–	Цифрове зображення
ОЯС	–	Оцінка якості сегментації

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В останні роки спостерігається збільшення обчислювальної потужності апаратних засобів, що збільшили використання комп'ютерних засобів в повсякденному житті. Комп'ютери пропонують все більше та більше обчислювальної потужності, а тому все реалістичними стають задачі виявлення та розпізнавання об'єктів у режимі реального часу. А використання програмно-апаратних засобів для створення систем автоматизованого управління транспортними засобами все частіше інтегруються в нові моделі автомобілів. А звідси постає проблема розробки та реалізації алгоритмів для розпізнавання дорожніх знаків. Деякі нові моделі автомобілів високого класу вже оснащені системами допомоги водієві які пропонують автоматичне виявлення та розпізнавання певних класи дорожніх знаків. Виявлення та розпізнавання дорожніх знаків також стає цікавим в автоматизованому обслуговуванні доріг.

Символи дорожнього руху мають кілька відмітних ознак, які можуть використовуватися для їх виявлення та ідентифікації. Вони є розроблений у конкретних кольорах та формах, з текстом або символом у високій контрастності з фоном. Кожна дорога повинна періодично перевірятися на наявність відсутніх або пошкоджених знаків. Зазвичай перевірки проводяться за кермом автомобіля по дорозі, що досліджується, а отримані дані записуються вручну. Завдання перевірки стану кожного дорожнього знаку в ручному режимі є довгим і нудним процесом на результат якого можуть впливати людські помилки. Використовуючи методи комп'ютерного зору, дане завдання може бути автоматизовано, а отже, виконуватися більш частіше, що в кінцевому результаті призведе до більшої безпеки на дорогах.

І хоча на перший погляд та враховуючи останні досягнення в галузі комп'ютерного зору може здатися, що проблема виявлення та розпізнавання дорожніх знаків легко вирішується, проте це не так. Якщо проаналізувати дорожні знаки то це досить прості предмети сильно обмежені в видозміні. Сучасні алгоритми виявлення та класифікації будуть дуже ефективно

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконувати поставлені перед ними задачі. Однак, у системах допомоги водієві на дорозі або в системах інвентаризації, проблема вже полягає не в тому, як це зробити ефективно на одному зображенні, але як надійно виявити та розпізнати його на сотнях тисяч відеокадрів без помилок. При цьому в системах часто використовують дешеві датчики низької якості, доступні у масовому виробництві, що теж додає складності при обробці даних.

Таким чином, задача розробки програмного забезпечення та аналіз алгоритмів виявлення та детекції дорожніх знаків є актуальною, та поширеною, зокрема в областях, що характеризуються автоматизацією процесів управління транспортними засобами та систем оцінки якості стану доріг та супутньої інфраструктури.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ВИДІЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ДОРОЖНІХ ЗНАКІВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

1.1 Цифрові зображення та їх класифікація

Перші роки 21 століття стали свідками надзвичайного зростання використання цифрових зображень як засобу для представлення та передачі інформації. Велика кількість наукової літератури описує складні теорії, алгоритми та програми цифрової обробки зображень, що значно розвинулась в наш час, чому значно сприяв інтенсивний розвиток апаратних засобів.

Числове подання двовимірного зображення відоме як цифрове зображення. Це може бути векторний або растровий тип. Як правило, у більшості випадків розглядають чотири типи зображень:

- бінарні зображення;
- зображення в градаціях сірого;
- кольорові зображення;
- мультиспектральні зображення.

Точки на бінарному зображенні можуть приймати одне з двох значення 0 або 1, в загальному випадку це чорний та білий колір. Двійкові зображення займають лише 1 двійкову цифру для представлення кожного пікселя, тому воно також відоме як 1-бітове зображення. Завдяки пороговій операції із сірих зображень створюються бінарні зображення. При пороговій обробці кожен піксель, що перевищує порогове значення, стає білим (1), а ті, що перебувають нижче порогового значення, стають чорними (0). Приклад бінарного зображення наведено на рисунку 1.1,а.

Зображення в градаціях сірого. Ці зображення також відомі як монохромні або одноколірні зображення. Зображення в градаціях сірого містять лише інформацію про рівень сірого, вони не містять жодної інформації про колір (рисунок 1.1,б). Доступна кількість різних рівнів сірого визначається кількістю бітів, що використовуються для кожного пікселя. Наприклад: для 256 різних

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

рівнів сірого зображення шкали сірого має містити дані 8 біт/піксель. Дані 12 або 16 біт/піксель використовуються для медичної візуалізації та астрономії.



а)

б)

с)

Рисунок 1.1 – Приклади зображень різних типів

Кольорові зображення створюються як трисмугові монохромні дані зображення, в яких кожна смуга даних зображень відповідає різному кольору. У кожній спектральній смузі є інформація рівня кольору, яка є фактичною інформацією, що зберігається в цифровому зображенні. Кольорові зображення також відомі як зображення RGB, оскільки кольорові зображення представлені у вигляді червоного, зеленого та синього кольорів. Кольорові зображення мали б 24 біти/пікселі, використовуючи 8-бітний монохромний стандарт як модель та 8 біт для кожного з трьох кольорових діапазонів (червоного, зеленого та синього).

Багатоспектральні зображення. Цей тип зображень містить інформацію за межами звичайного людського сприймання. Представлена інформація не сприймається безпосередньо людською системою, отже, це не образи у звичному розумінні. Однак, зіставляючи різні спектральні смуги з компонентами RGB, інформація представляється у візуальному вигляді. Багатоспектральні зображення включають ультрафіолетові, інфрачервоні, рентгенівські, радіолокаційні та акустичні дані.

Окрім класифікації за кольоровими особливостями цифрові зображення також можна класифікувати за принципом їх зберігання:

- у вигляді масиву точок (растрові зображення);
- у вигляді набору математичних примітивів (векторні зображення).

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Растрові (або растрові) зображення - це загалом те, про що думає людина, думаючи про зображення. Це типи зображень, які створюються під час сканування або фотографування об'єкта. Растрові зображення компілюються з використанням пікселів або крихітних крапок, що містять унікальну кольорову та тональну інформацію, яка поєднується для створення зображення.

Оскільки растрові зображення базуються на пікселях, вони залежать від роздільної здатності. Кількість пікселів, з яких складається зображення, а також кількість цих пікселів, що відображаються на дюйм, визначають якість зображення. Очевидно, що чим більше пікселів на зображенні і чим вища роздільна здатність, тим якіснішим буде зображення. Загальні типи растрових зображень: jpg, tiff, gif, png, bmp.

На відміну від растрових зображень – векторні не мають на меті зберегти кожен піксель так як його було видно на природній сцені. Векторні пробують описати сцену на основі деяких математичних формул, що дозволяє зменшити розміри файлів, проте в більшості випадків втрачається їх природність. Приклад порівняння представлення файлів у векторному та растровому представленні наведено на рисунку 1.2.



Растрове зображення

Векторне зображення

Рисунок 1.2 – Відмінності між векторними та растровими зображеннями

Замість того, щоб намагатись зберегти мільйони крихітних пікселів на растровому зображенні, на векторних зображеннях чи штрихових малюнках, зберігаються точки та рівняння ліній, що їх з'єднують. Взагалі кажучи, векторні зображення складаються з контурів або штрихових зображень, які можна нескінченно масштабувати, оскільки вони працюють на основі алгоритмів, а не пікселів. Головною перевагою векторних зображення є можливість

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

встановлювати на нескінченно більший або менший розмір, і вони все одно будуть роздруковуватися так само чітко, без збільшення (або зменшення) розміру файлу. Майже всі файли комп'ютерних шрифтів базуються на векторних зображеннях букв - ось чому можна масштабувати їх вгору чи вниз, і при цьому літери будуть чіткими. У всіх кліпартах Microsoft Office використовується векторне зображення, а більшість діаграм та графіків, вироблених Office або програмним забезпеченням для статистичного аналізу, базуються на векторах. Зазвичай векторне мистецтво створюється в ілюстративних програмах, таких як Adobe Illustrator або CorelDRAW. Векторні ілюстрації чудово підходять для логотипів, ілюстрацій / ілюстрацій, анімації та тексту. Загальні типи векторних файлів: eps, svg.

1.2 Технології виділення та розпізнавання дорожніх знаків

За останні кілька десятиліть транспортні засоби настільки сильно інтегрувалися в наше повсякденне життя, що зараз важко уявити життєдіяльність людей без них. Тому, суспільство намагається постійно покращувати дану галузь не тільки з практичного, але і з наукового боку. З 1980 року кількість особистих автомобілів в світі збільшилося на 84%, що є наслідком швидкого зростання населення та стрімкого збільшення темпу життя. З ростом числа автомобілів зросла і кількість дорожньо-транспортних пригод. Керування транспортним засобом вимагає великої уваги та обережності від водія. Щодня на дорогах через неуважність водіїв відбуваються аварії, які нерідко закінчуються травмами та навіть летальними ситуаціями для людей. Тому, якби був такий транспортний засіб, який дозволяв би людині спокійно та безпечно добиратися до необхідного місця, то одна з важливих проблем для людства була б вирішена. При сучасному розвитку технологій, дані плани вже зараз стають реальністю. Бажання домогтися поліпшення ситуації дорожнього руху за рахунок автоматизації

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підштовхнуло вчених до розробки автономних автомобілів, здатних пересуватися без участі людини.

Вибрати найкращий метод розпізнавання дорожніх знаків досить важко, тому що є безліч факторів, які впливають на точність розпізнавання. Серед основних, які найбільше впливають на точність рас-пізнавання відносяться наступні (рисунок 1.3).

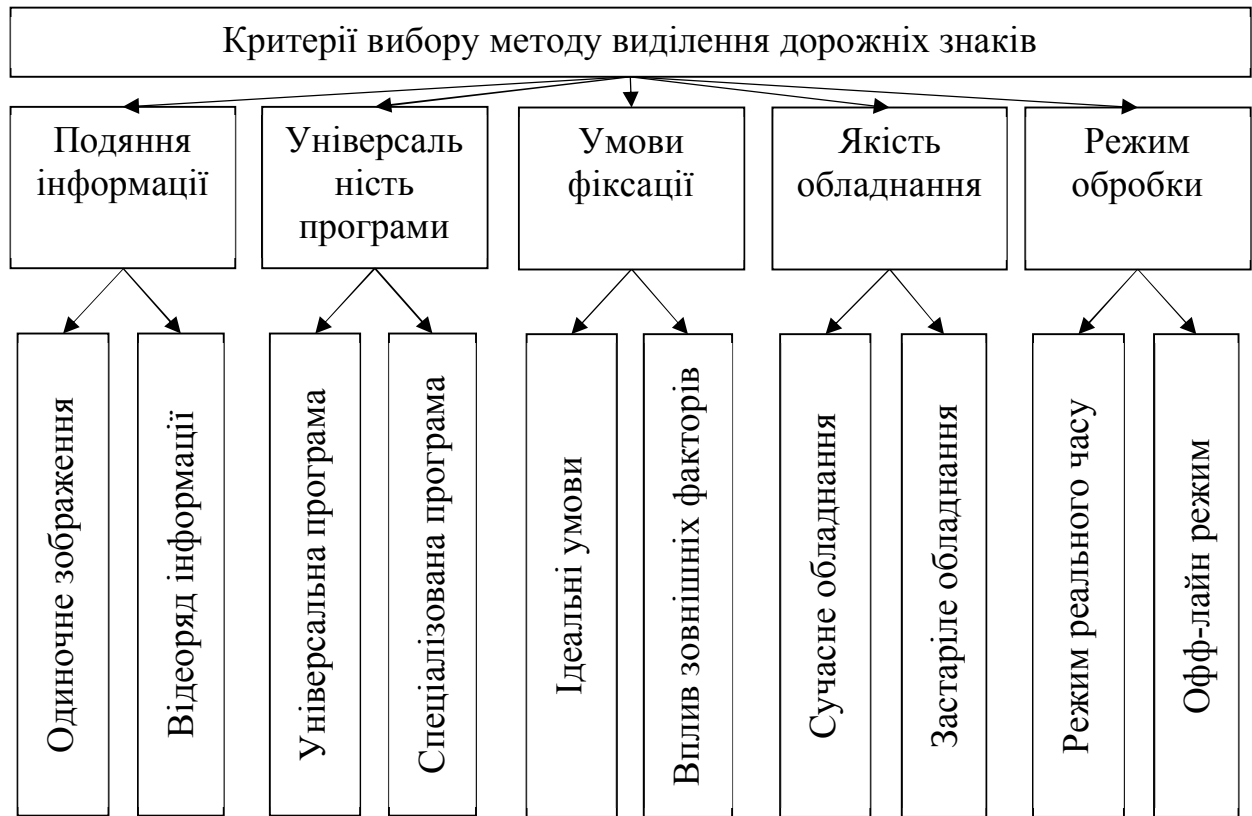


Рисунок 1.3 – Параметри вибору методі виділення дорожніх знаків в система автоматизованого аналізу

Подання інформації при аналізі та детектуванні є важливим фактором, оскільки від того скільки зображень необхідно обробити одне чи декілька якщо є відеоряд напряду залежить точність виявлення. Оскільки якщо на деякому зображенні було виявлено знак з деякою точністю, то при відеоряді цю гіпотезу можна або підтвердити або спростувати. Проте збільшення кількості аналізованих зображень автоматично призводить до збільшення часових затрат на виконання аналізу.

Універсальність програми. Беззаперечним фактом є те, що програмні засоби налаштовані на виявленні лише одного класу об'єктів мають більшу точність спрацювання та високу швидкість роботи, проте вони є не ефективними при роботі з непрофільними класами об'єктів. Використання програмних засобів даного типу має вузькоспеціалізовану направленість та не може використовуватись в сучасних умовах для побудови автоматизованих систем виділення дорожніх знаків.

Умови зйомки. Оскільки апаратні засоби для фото-відео фіксації перетворюють світлові хвилі, що відбиваються від відповідних поверхонь, то і очевидно, що від того які перешкоди вони долають проходячи від знаку до фіксуючої апаратури залежить результат який буде отриманий в кінці. Природні фактори значно впливають на фотофіксацію. Наприклад присутність таких факторів як сонячний день чи ніч або дощ чи туман, все це відобразиться на якості зображення.

Якість обладнання. Очевидним, що якість та характеристики фіксуючої апаратури напряму впливають на отримані результати. Чорно-біла камера чи кольорова, наявність спалаху чи відсутність, максимальна роздільна здатність зображення та багато інших факторів впливають на результат фіксації сцени, що в подальшому напряму вплине на результат аналізу відповідного зображення.

Режим обробки інформації, даний параметр має додатковий характер, проте з розвитком сучасних апаратних засобів та рівня автоматизації транспорту все більше вимагає до себе уваги. Очевидним є той факт, що при аналізу інформації в реальному часі для її опрацювання необхідні значні обчислювальні ресурси, що в більшій мірі впливає не на самі алгоритми, а на апаратні складові, що включені в програмно-апаратні комплекси виявлення та детектування дорожніх знаків.

При проведенні аналізу запропонованих підходів до вибору базового алгоритму виділення дорожніх знаків слід приймати до уваги, що вони носять скоріш рекомендаційний характер, оскільки написати універсальний програмний комплекс є складною задачею, оскільки незважаючи на статичність у формі та кольоровій гамі процес виділення є надзвичайно складним, оскільки

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на вхідні дані впливає велика кількість зовнішніх факторів, що не можна однозначно описати та передбачити. Особливо це стосується випадків, коли рішення необхідно прийняти на основі однієї фотографії.

На рисунку 1.4 наведено групи алгоритмів, що найчастіше використовуються під час проектування та реалізації систем детекції та розпізнавання дорожніх знаків.

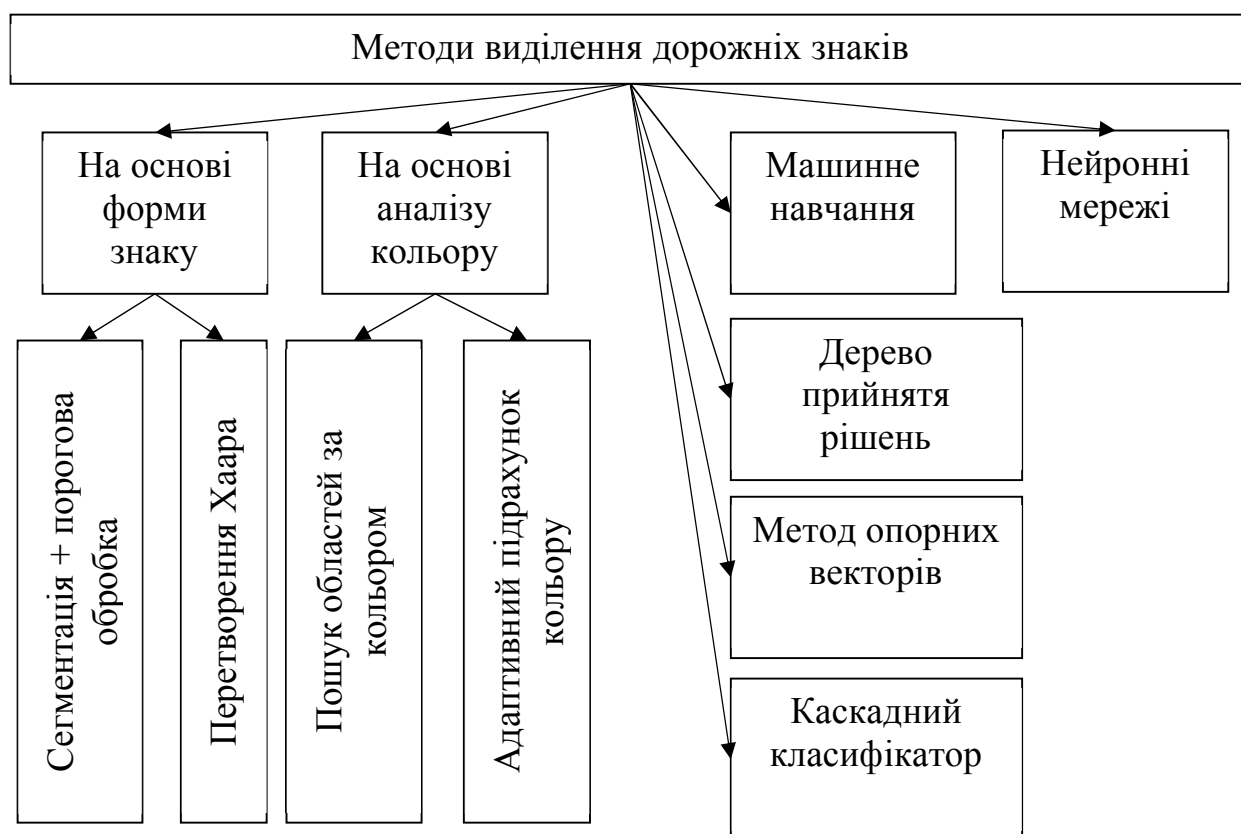


Рисунок 1.4 – Параметри вибору методі виділення дорожніх знаків в система автоматизованого аналізу

Методи, засновані на знаннях про форму знаків та пошук відповідних областей на зображенні. Найбільш поширений підхід у виявленні дорожніх знаків оснований на знаходженні області зображення яка містить колір, що представляє для інтерес для алгоритму виявлення. На отриманих областях визначаються або дорожні знаки, або площини, де вони можуть гіпотетично розташовуватися. Для цього може застосовується порогова обробка зображень або більш складні методи сегментації зображення. Сегментацією називають

процес поділу цілого зображення на кілька сегментів або множину точок з однаковими характеристиками, які ще називають суперпікселями. Метою сегментації є спрощення представлення зображення для подальшого аналізу. Зазвичай сегментацію використовують для виділення об'єктів і границь (криві, лінії тощо) на зображеннях. В ході виконання сегментації зображень відбувається процес присвоєння таких міток кожному пікселю зображення, при цьому відбувається процес об'єднання пікселів з однаковими мітками, тобто групування точок які мають подібні візуальні характеристики. Порогова обробка є найбільш швидким та простим методом сегментації, що робить її однією з пріоритетний при виборі алгоритмів сегментації, особливо в ситуаціях обробки великих масивів даних за короткі проміжки часу. Даний метод орієнтований на обробку зображень, окремі однорідні ділянки яких розрізняються за рівнем середньої яскравості. Найпростішим, але при цьому найбільш часто вживаним алгоритмом сегментації називають бінарну сегментацію, коли на зображенні присутні тільки два типи однорідних ділянок. Проведені дослідження доводять, що сегментація на основі порогової обробки забезпечують високу точності розпізнавання дорожніх знаків в подібних системах [5].

Ще одним методом з даної групи є перетворення Хафа. Воно використовується для пошуку об'єктів, які мають чітко визначені форми та належать конкретним класам фігур. Важливим моментом в даному методі є використання процедури виборів, яка застосовується до простору характеристик на основі якого і буде відбуватись класифікація об'єктів на основі критерію локального максимуму. При обчисленні трансформації Хафа виходить так званий накопичувальний простір. Перетворення Хафа базується на уявленні об'єкта у вигляді параметричного рівняння. Параметри цього рівняння представляють фазовий або акумуляторне простір. Потім, береться бінарне зображення, наприклад, результат роботи детектора границь Кенні. Всі точки кордонів перебираються і робить припущення про те, чи відповідна точка належить лінії шуканого контуру об'єкта. Таким чином, відбувається розрахунок значення рівняння для кожної точки зображення та отримуються необхідні параметри, які зберігаються у просторі Хафа. Заключним етапом даного підходу

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

є обхід простору Хафа та вибір його максимальних значень, за які «проголосувало» найбільше пікселів на зображенні, що і дає можливість алгоритму визначити параметри для рівнянь шуканого об'єкта [6].

Методи, засновані на аналізі кольору знака. Головний недолік такого підходу полягає в тому, що на результати аналізу значно впливають сторонні фактори які можуть спотворити кольорові особливості знаку під час їх фото-відео фіксування, наприклад серед яких: залежність від часу доби (освітленості), погодних умов, тіней тощо. Стандартний колірний простір RGB є дуже чутливий до рівня освітлення, тому при роботі розробники намагаються використовувати інші колірні простори, такі як HSI або LAB. Але тим не менше, на основі даного підходу було створено досить багато різноманітних методів.

Зокрема для мінімізації впливу освітлення пропонується використовувати підхід оснований на розрахунку параметра освітлення в залежності від відстані до джерела світла. Даний підхід полягає в тому, щоб знайти частину білого кольору в сцені і обчислити відмінність між зображенням, білим і теоретично білим кольором. У реальних умовах не можна розраховувати наявність білого орієнтира, тому що дорога зазвичай сіра. Тому, для виявлення дорожніх знаків за орієнтир береться колір дороги, який по замовчуванню приймається з значенням колір - "сірий". Потім виконується кольорове вирівнювання з лінеаризацією гамма функції.

Інших підхід базується на виявленні червоного в колірному просторі HSI. Вхідне зображення спочатку перетворюється з кольорового простору RGB в HSI. Для кожного пікселя значення відтінку та насиченості обчислюється таким чином, щоб діапазон червоного був яскраво виражений. Тоді припускають, що значення параметру відтінку та насиченість виміряна в діапазоні від 0 до 255. Отримані значення перемножуються для отримання більш "коректних" значень.

Окрім стандартних колірних просторів часто використовують і інші, наприклад колірну модель CIECAM97. Зображення спочатку перетворюються з RGB до CIE, і потім до LCH. При цьому розглядають чотири випадки: середньостатистичні умови, а також умови під час сонячного, хмарного та дощового дня. Вважаючи, що саме ці погодні умови є найбільш характерними та

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у повній мірі дозволять врахувати різні рівні освітленості при реальних експериментах. Використовуючи прийнятні адаптивні діапазони, зображення рекурсивно розділяється на окремі сектори, завдяки чому досягається визначений розміру пікселя.

Результати подібних досліджень свідчать про високий потенціал даного підходу, але різні фактори, такі як зміна освітлення, тіні, несприятливі погодні умови значно впливають на відсоток та точність виявлення дорожніх знаків. Незважаючи на це, використання методів по розпізнаванню дорожніх знаків на основі аналізу кольорів має широке використання як додатковий механізм в програмних системах виявлення та детекції дорожніх знаків.

Методи, що базуються на машинному навчанні. В даний час набирають обертів різноманітні методи машинного навчання. Алгоритми машинного навчання знаходять широке застосування в системах різного призначення: пошукових системах, алгоритмах розпізнавання, аналізу та синтезу природньої мови, медичній діагностиці, біоінформатики, фінансовому прогнозуванні тощо. Винятком не є і комп'ютерний зір. Наприклад, переважна більшість сучасних систем детектування об'єктів на зображеннях і відео базується на застосуванні алгоритмів машинного навчання. Такий підхід дозволяє комп'ютерній системі самостійно, або з незначним втручанням оператора «навчитися» відрізнити об'єкти на зображення або зображення в цілому, що містять шуканий об'єкт, при цьому, використовуючи для цього лише приклади таких зображень (навчальну вибірку). Також методи кластеризації та навчання з учителем успішно застосовується в алгоритмах класифікації зображень, знову ж дозволяючи автоматично встановити неявні відмінності між зображеннями різних типів. Найбільш популярними є такі алгоритми машинного навчання.

Нейронні мережі. Нейромережеві методи включають в себе цілий клас алгоритмів. Основна ідея, яка лежить в їх основі полягає в послідовному перетворенні сигналу паралельно працюючими функціональними елементами, або як їх ще називають, нейронами. Процес навчання таких нейронних мереж зводиться до зменшення середньоквадратичної помилки. Системи виявлення об'єктів на зображеннях, засновані на нейронних мережах, використовують

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ієрархічну структуру. Спочатку вектор ознак обробляється простою мережею з високим рівнем помилок другого роду, а потім, якщо вектор був класифікований як не об'єкт, рішення коригується більш точною, але при цьому і більш складною та повільною мережею. Перевагою нейронних мереж є висока точність виявлення при правильному налаштуванні параметрів мережі. З недоліків можна виділити сильну чутливість до шуму, необхідність ретельної налаштуванні параметрів нейронної мережі для отримання хороших результатів. Проте основним недоліком є висока обчислювальна складність, навіть на сучасних апаратних прискорювачах, і, як наслідок, швидкість роботи, яка є не завжди достатньою для обробки в реальному часі.

Метод опорних векторів. Це набір схожих алгоритмів за принципом «навчання з учителем», який використовується при вирішенні задач класифікації та регресійному аналізі. Даний метод належить до сімейства лінійних класифікаторів. Суть методу полягає в знаходженні гіперплощини, яка розділяє область на два класи. З усіх можливих гіперплощин, які поділяють два класи, потрібно вибрати таку гіперплощину, відстань до якої від кожного класу є максимальною. Цю гіперплощину називають оптимальною роздільною гіперплощиною, а відповідний їй лінійний класифікатор називається оптимально роздільним класифікатором. До переваг методу опорних векторів відносять високу стійкість до перенавчання, можливість зменшення чутливості до шуму за рахунок зниження точності. При цьому, пошук оптимального співвідношення цих параметрів вимагає точного налаштування. А також точність роботи методу поступається іншим методам машинного навчання.

Дерева прийняття рішень. Це один з алгоритмів прийняття рішень, який використовується для різноманітних моделей. Структура дерева складається з ребер і вузлів: на ребрах («гілках») дерева рішення записані атрибути, від яких залежить цільова функція, на «листі» записані значення цільової функції, а в інших вузлах - атрибути, за якими розрізняються об'єкти. Щоб класифікувати новий об'єкт, необхідно спуститися по дереву до листа та видати відповідне значення. Подібні дерева рішень широко використовуються в інтелектуальному аналізі даних. Перевагами алгоритму є: висока швидкість навчання, висока

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якість одержуваних моделей (в порівнянні з нейронними мережами та ансамблями нейронних мереж). Разом з тим, можна відзначити й недоліки алгоритму: необхідність у великій кількості пам'яті. Також навчена модель працює трохи повільніше інших алгоритмів (якщо в модель входить 100 дерев, то необхідно пройтися по всіх, щоб отримати результат), що робить даний алгоритм непридатним для пошуку об'єктів у відеоряді в реальному часі.

Каскадний класифікатор. Каскадний класифікатор або метод Віола-Джонса був запропонований Полом Віолою і Майклом Джонсом і став першим методом, який демонстрував високу точність розпізнавання об'єктів на зображеннях в реальному часі. В даному алгоритмі використовується набір ознак, близьких до ознаками Хаара спільно з однією з варіації алгоритму AdaBoost. AdaBoost (Adaptive Boosting) - алгоритм посилення класифікаторів шляхом об'єднання їх в окремі групи. Вперше даний алгоритм був запропонований Йоав Фройнд і Робертом Шапіро. Зазвичай він використовується в поєднанні з іншими алгоритмами класифікації для поліпшення їх ефективності. Даний алгоритм називається адаптивним тому, що кожна наступна група класифікаторів будується по об'єктах, невірно класифікованих попередніми групами. Перевагами такого методу є висока швидкість виявлення за рахунок використання каскадного класифікатора, висока точність виявлення з низьким відсотком помилкових спрацьовувань, в цілому порівнянна з точністю виявлення у набагато більш повільних алгоритмів. Крім того, алгоритм підлаштовується під проблемні елементи з навчальної вибірки і теоретично метод досягає нульової помилки навчання за кінцеве число ітерацій. Але при цьому даному алгоритму потрібна велика навчальна вибірка з позитивних і негативних зображень та великий час навчання. Якщо ж програмі доступні значні обчислювальні потужності, то даний фактор не є вирішальним та може не враховуватись при порівняльному аналізі алгоритмів.

Таким чином, найкращим варіантом буде алгоритм, заснований на методі машинного навчання з використанням додаткових параметрів для поліпшення точності розпізнавання дорожніх знаків у вигляді переходу в інший колірний простір, а також пошуку границь контуру дорожнього знаку.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Програмні засоби виділення та детекції дорожніх знаків

На сьогоднішній день в світі ІТ-технологій широко розповсюджені програмні додатки та цифрові бібліотеки функцій для аналізу та обробки цифрових зображень. Основні напрямки в сучасних реаліях, де застосовуються програмні системи обробки, аналізу, розпізнавання цифрових зображень були проілюстровані на рисунку 1.5.

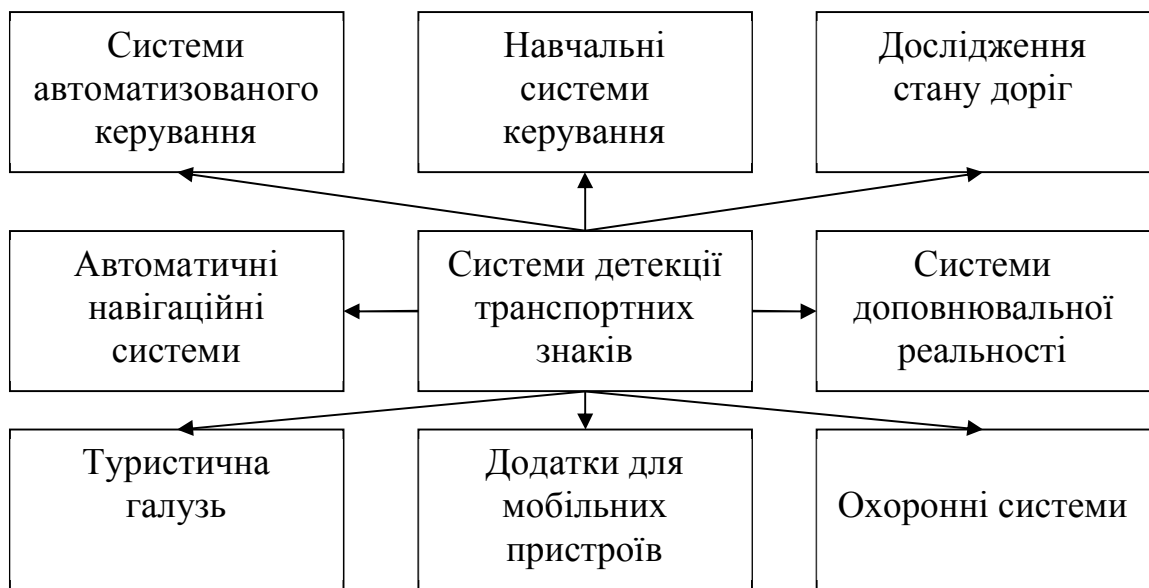


Рисунок 1.5 – Сфери застосування систем виділення та детекції дорожніх знаків

Базуючись на тому твердженні, елементи розпізнавання є у більшій мірі не самостійними програмними додатками, а скоріше програмними модулями більш складніших систем було проведено аналіз загальних груп реалізованих модулів. Тому в огляді у більшій мірі зібрані не стільки самостійні системи, а програмні розробки від відомих автовиробників. Проте існує достатньо розвинутий напрям розробки програмних додатків, що встановлюються на мобільні пристрої і можуть працювати не залежно від типу автомобіля що використовується. Результати дослідження та порівняння окремих програмних розробок наведено у вигляді таблиці 1.1. Для порівняння було обрано наступні критерії: вартість програмного забезпечення, регулярність оновлення, рівень задекларованої похибки, можливість самонавчання, режим роботи.

Таблиця 1.1 – Порівняння програмних засобів виявлення дорожніх знаків

Назва програмної системи	Рівень задекларованої точності	Моливність самонавчання	Регулярність оновлення	Вартість
Speed Limit Assist (Mercedes-Benz)	високий	+ -	+	Опція у вартості машини
Road Sign Information (Volvo)	високий	+ -	+	Опція у вартості машини
Traffic Sign Recognition (TSR) (Volkswagen)	високий	+ -	+	Входить в вартість машини
Traffic Sign Recognition (TSR) (Audi)	достатній	-	+	Опція у вартості машини
Traffic Sign Recognition (TSR) (Ford)	достатній	-	+	Опція у вартості машини
Traffic Sign Recognition (TSR) (BMW)	високий	+ -	+	Опція у вартості машини
Opel Eye (Opel)	достатній	-	+	Умовно платний
Autopilot (Tesla)	дуже високий	+	+	Умовно платний
Traffic Sign Recognition (TSR) (Honda)	достатній	-	+	Умовно платний
RoadAR (Android)	достатній	-	+ -	Платний продукт
PAPAGO GoSafe 310 (PAPAGO! Inc)	високий	-	+	Платний продукт

При розгляді програмних систем обробки зображень слід виділити, що розробники чітко виділяють фази попередньої та основної обробки зображень. Іншим фактором є те, що більшість реалізацій базується на роботі з конкретними типами автомобілів, що дозволяє більш точно отримати інформацію про апаратне забезпечення яке буде використовуватись при роботі програми.

1.4 Постановка задач кваліфікаційної роботи та шляхи її вирішення

У цьому розділі аналізуються сучасні методи опису та класифікації цифрових зображень. Розглянуто підходи до проведення виділення та класифікації дорожніх знаків, а також виділено основні критерії підбору методів детекції знаків. Проведено порівняльний аналіз сучасних програмних засобів для виділення та класифікації дорожніх знаків.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) провести аналіз та класифікацію цифрових зображень в системах автоматизованого управління транспортними засобами;
- 2) проаналізувати методи виділення та класифікації дорожніх знаків на зображеннях та відеопотоках;
- 3) провести аналітичний огляд існуючих програмних систем для виділення та класифікації дорожніх знаків;
- 4) дослідити алгоритми сегментації та розпізнавання об'єктів з на прикладі дорожніх знаків;
- 5) розробити алгоритм виділення та класифікації зображень дорожніх знаків на основі аналізу їх характеристик у системі аналізу цифрових зображень;
- 6) розробити структурну схему програмного додатку для виділення та класифікації зображень дорожніх знаків, програмно реалізувати запропоновані алгоритми, провести порівняльний аналіз з програмами-аналогами.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2. АЛГОРИТМИ ВИДІЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ДОРОЖНІХ ЗНАКІВ

2.1 Алгоритми сегментації кольорових цифрових зображень

У комп'ютерному зорі сегментація відноситься до процесу розділення цифрового зображення на кілька сегментів (набори пікселів, також відомі як суперпікселі). Сегментація зазвичай використовується для пошуку об'єктів і границь (лінії, криві тощо) на зображеннях. Крім того, саме сегментація зображень - це процес присвоєння мітки кожному пікселю на зображенні таким чином, що пікселі з однаковою міткою поділяють певний візуально цілісний елемент. Результатом сегментації зображень є набір сегментів, які в сукупності охоплюють ціле зображення або набір контурів, виділених із зображення. Кожен з пікселів у регіоні є подібним щодо якоїсь характеристики або обчисленої властивості, наприклад колір, інтенсивність тощо. Зважаючи на важливість сегментації зображень існує велика кількість алгоритмів, але основним критерієм для вибору алгоритму все ж залишається критерій отримання найкращих результатів. При аналізі будемо розглядати різні класи алгоритмів які застосовуються для кольорових зображень, текстур та зображень у сірому кольорі.

Всі операції з обробки зображень, як правило, спрямовані на покращення розпізнавання об'єктів, що представляють інтерес, тобто постійно відбувається пошук відповідних місцевих особливостей, які є унікальними та на основі яких можуть бути відокремлені від інших об'єктів або фону. Наступним кроком є перевірка кожного окремого пікселя, щоб перевірити, чи належить він до об'єкту інтересу чи ні. Ця операція називається сегментування та формує бінарне зображення. При цьому, піксель має значення один, якщо він належить об'єкту, інакше дорівнює нулю. Сегментація – це робота на порозі між низьким рівнем обробки зображень та аналізом зображень. Після сегментації, відомо, який піксель належить якому об'єкту. Зображення розбито на регіони, і чітко видно розриви на границях між регіонами. Класифікація алгоритмів сегментації на основі різних характеристик та підходів до аналізу (рисунок 2.1)

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

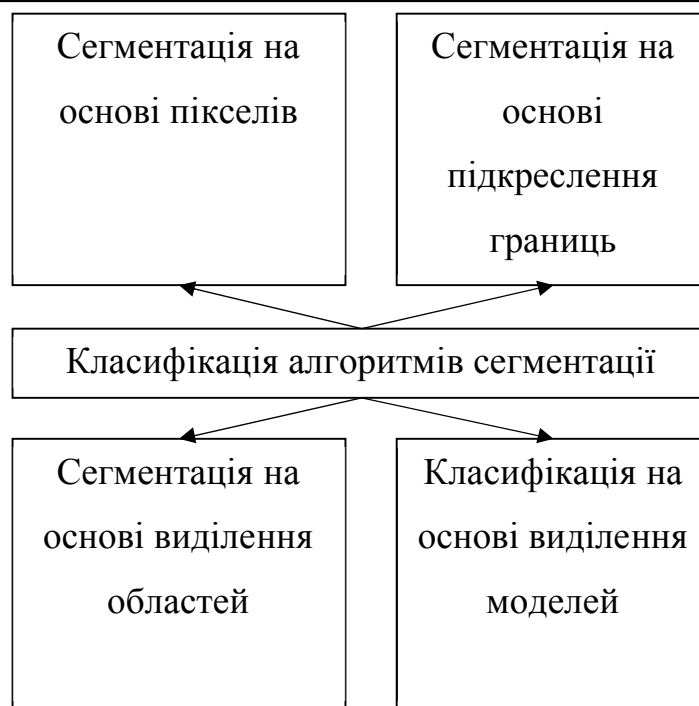


Рисунок 2.1 – Класифікація алгоритмів сегментації на основі базового елементу вибраного для аналізу

Сегментація на основі пікселів: точкова або піксельна сегментація концептуально є найпростішим підходом, що використовується для сегментації.

Сегментація на основі виділення границь: навіть з ідеальною освітленістю, сегментація на основі пікселів призводить до зміщення розміру сегментованих об'єктів, коли об'єкти демонструють зміни у своїх значеннях рівня сірого. Темніші предмети стануть занадто дрібними, а яскраві об'єкти занадто великі. Варіації розміру є результатом того факту, що значення сірого на краю об'єкту змінюється лише поступово від фону до значення об'єкта. Розмір виникає, якщо взяти середнє значення об'єкта і значення сірого фону як порогового значення.

Однак такий підхід можливий лише якщо всі об'єкти показують однакове значення сірого або якщо є змога застосувати чіткі значення порогу для кожного об'єкта. Може бути використаний підхід до сегментації на основі ребер, проте те даний підхід може мати негативні фактори, оскільки застосовуватиме складні схеми порогових значень. Сегментація на основі країв базується на тому факті, що положення ребра задано знаком похідної першого порядку або нулем у похідній другого порядку.

Алгоритми на основі виділення областей зосереджують увагу на важливому аспекті процесу сегментації, що пропускається при використанні алгоритмів точкової групи. Там сам pixel класифікується як об'єкт піксельного оцінювання виключно на значенні його рівня сірого незалежно від контексту. Це означає, що окремі точки або маленькі області можна класифікувати як пікселі об'єкта, ігноруючи той факт, що важливішою характеристикою об'єкта є його зв'язність, при цьому використовується не оригінальне зображення, а особливе представлення для процесу сегментації, особливості представляють не один піксель, а рівень подібності між сусідами, залежно від розміру маски використовуваних операторів. По краях предметів, однак, де маска включає пікселі як від об'єкту, так і від фону. Правильним підходом було б обмеження розміру маски на краю об'єкта або фону. Очевидно, що цю проблему неможливо вирішити за один крок, а лише ітеративно, використовуючи процедуру в якій обчислення та сегментація виконується по черзі. На першому кроці функції обчислюються без урахування будь-якої границі об'єкта. Тоді проводиться попередня сегментація і функція обчислюється знову, тепер використовуючи результати сегментації для обмеження маски для операції сусідства по краях об'єкта до іншого об'єкта або фонових пікселів, залежно від розташування центрального пікселя. Щоб покращити результати, обчислити особливості та сегментацію можна повторювати до того часу, поки не буде отриманий стабільний результат визначеної якості.

Сегментація на основі моделі: всі методи сегментації, які обговорювались до цього часу, використовують лише місцеву інформацію. Система зору людини має здатність розпізнавати предмети, навіть якщо їх немає повністю відображеною на сцені. Очевидно, що інформація, яку можна отримати від місцевих сусідніх операторів недостатньо для виконання даного завдання. Натомість конкретні знання про геометричну форму предметів є тією цінною інформацією, яку потім можна доповнити місцевою. Цей хід думок веде до сегментація на основі моделі. Його можна застосувати, якщо відома точна форма вміщених предметів на зображенні.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Людські очі мають пристосованість до яскравості, яку можемо визначити лише десятками градацій шкали сірого в будь-якій точці складного зображення, але може ідентифікувати тисячі кольорів. У багатьох випадках використовувати лише інформацію рівня сірого не можна витягнути ціль з фону, тому в таких випадках слід застосувати засоби кольорової інформації. Сегментація кольорових зображень також широко використовується в багатьох мультимедійних програмах, наприклад для ефективного сканування великої кількості зображень та відеопотоків в цифрових бібліотеках, усі вони потрібні для складання каталогу, сортування та зберігання. Колір і текстура – дві найважливіші особливості пошуку інформації на основі її змісту в зображеннях та відео. Тому сегментація на основі текстур, яка часто використовується для індексації та управління даними є ще одним прикладом мультимедійних додатків та розповсюдження інформація в мережі.

Основною ідеєю методу нарощування областей є об'єднання пікселів із подібними властивостями між собою, що в подальшому утворюють регіон. Даний підхід включає такі кроки:

- знайти початковий піксель як вихідну точку для сегментації;
- об'єднати такі самі або подібні за деякими характеристиками сусідні піксель (на основі заздалегідь визначеного параметра або формули), при цьому всім пікселям області ставиться однакова мітка;
- нові пікселі стають новими центрами областей та проводиться процедура повторного нарощення усіх сусідніх пікселів, які не були приєднані до області;
- даний процес зупиняється якщо усі пікселі зображення були розподілені або різниця в значеннях характеристик пікселів значно відрізняється від характеристик області.

Френк і Шусіан Чен застосували автоматичний метод відбору центрів для регіону, вони вибирають центри на основі інформації отриманої після попереднього аналізу зображення та виділення параметрів, що є характерними подібними для цілого зображення. Алгоритм водоподілу є більш представницький у застосуванні теорії математичної морфології для сегментації

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зображення. Алгоритм водоподілу - це відображення методів сегментації на основі регіону, яке використовує морфологічну обробку зображення. Алгоритм водоподілу це ітеративний адаптивний пороговий алгоритм. Ідея водоподілу виникла з географії, алгоритм відображає величину градієнта зображення як топографічну карту, де градієнт величина відповідає висоті, різний градієнт відповідає піку, а подібний – долині на зображенні. Він бачить кожен об'єкт зображення (включаючи фон) як окрему частину, що повинна мати хоча б один центр в кожному об'єкті. Маркер – це знання про об'єкт на основі аналізу зображення, його обирає оператор вручну або за допомогою автоматичного процесу. Об'єкти можуть використовувати алгоритм водоподілу для перетворення і розвивати регіональне нарощування після завершення роботи алгоритму.

Сегментація растрових даних на зображенні повинна пов'язати регіони подібної сірої гама та може розглядатись як одне з основних завдань. У аналізі текстур якраз цей тип сегментація можлива використати після операції над окремими пікселями та встановлення стартових маркерів для кожного з них. Оригінальний алгоритм сегментації fbr, розроблений Розенфельдом-Пфальцем, потребує передачі для сегментації бінарних зображень. Ключова особливість Алгоритм Розенфельда-Пфальца полягає в тому, що зображення є растрово скановане, спочатку з гори зліва в напрямку направо вниз, а потім навпаки. Протягом сканування, кожен піксель знаходиться в області з деякою міткою, заснованою на відсканованій інформації, тобто обмежені регіони можуть мати пікселі з більше ніж однією міткою, після чого передається унікальна мітка для кожного пікселя. Однопрохідний алгоритм Коена продовжується для позначення пікселів під час прямого проходу, точно так само, як у Розенфельд-Фльц, за винятком того, що під час того ж прямого спуску, вже існує підготовлена таблиця, що виявляє зв'язок пікселів, які мають різні мітки. Для більшості цілей маркування пікселів буде знайдено за перший прохід за допомогою таблиці пошуку, що надає повну інформацію про сегментацію. Нова паралельна сегментація області та доступний алгоритм маркування, тобто застосовний до сірих зображень, а точніше – до приблизного сегментування є паралельною

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

задачу. Ключова особливість цей алгоритм є геометричним розщепленням зображення у прямокутні блоки з одним пікселем для накладання на з'єднання.

Потім при дослідженні областей центрів встановлюється зв'язок між різними мітками регіонів який визначається за допомогою таблиць зв'язків після чого отримується загальний образ сегментованого зображення, що базується шкалі сірого. Паралельний алгоритм для сегментація сірих зображень передбачає виконання однопрохідного алгоритму на прямокутні підзображення, з одним рядком або перекриття стовпців. Таким чином виробляється етикетка для кожного пікселя зображення разом із символом підключення LUT для кожного регіону. Потім рядки та стовпці, що перекриваються, створюють перекриття таблиці, що показують, які є мітки в кожному регіоні та їх зв'язок.

Сегментація зображень стала дуже важливим завданням у сьогоднішньому сценарії. Тепер світовий комп'ютерний зір став міждисциплінарною областю та застосовується у різних галузях будь то медична, дистанційне зондування, електроніка тощо. Таким чином, щоб знайти відповідний алгоритм сегментації слід аналізувати тип вхідних зображень та завдання які будуть ставитись перед проєктованими програмними системами.

2.2 Алгоритми розпізнавання об'єктів на цифрових зображеннях

Розпізнавання зображень – це термін, що використовується для опису набору алгоритмів та технологій, які намагаються аналізувати зображення та розуміти приховані подання об'єктів, що стоять за ними і застосовувати ці виділені уявлення для різних завдань, таких як автоматична класифікація зображень у різні категорії, розуміння наявних об'єктів та де на зображенні тощо. Ці технології використовують різні традиційні методи комп'ютерного зору, а також машинне навчання та алгоритми глибокого навчання для досягнення необхідних результатів для вирішення таких проблем.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Збір даних - це один із перших кроків у розпізнаванні зображень. Чим більше даних у нас є, тим кращі показники наших моделей. Дані можна збирати різними способами, такими як вилучення з Інтернету, збір від сторонніх джерел, або навіть можна придбати набори даних у перепродавців тощо.

Попередня обробка даних описує будь-який тип обробки, який виконується над необробленими даними, щоб підготувати їх до іншої процедури обробки. Отже, попередня обробка є початковим кроком, який перетворює дані у формат, який буде легше та ефективніше оброблятися. Для досягнення вищих показників розпізнавання важливо мати ефективний етап попередньої обробки, отже, використовуючи ефективні алгоритми попередньої обробки. Потрібні методи попередньої обробки кольорових, бінарних документів або зображень рівня сірого, що містять текст та/або графіку. Нижче наведено деякі прийоми систем розпізнавання зображень (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Класифікація алгоритмів попередньої обробки зображень

Розглянемо більш детально визначені групи алгоритмів:

– техніка вдосконалення зображення (для того, щоб усунути шум або виправити контраст зображення);

- техніка обмеження (видалення фону, що містить будь-які сцени, водяні знаки тощо);
- техніка сегментації зображення (для відокремлення графіки від тексту);
- сегментація символів (щоб відокремити символи один від одного);
- морфологічна попередня обробка (для підкреслення окремих дрібних деталей).

Існує набагато більше методів попередньої обробки, які будуть використовуватися відповідно до потреб проєктованих систем.

Комп'ютери можуть використовувати технології машинного зору в поєднанні з камерою та програмним забезпеченням для штучного інтелекту для досягнення розпізнавання зображень.

Технологія вилучення функцій. Вилучення ознак передбачає зменшення кількості зв'язків, необхідних для опису великого набору даних. При аналізі складних даних одна з основних проблем створюється із числа задіяних змінних. Аналіз з дуже великою кількістю змінних зазвичай вимагає великої кількості обчислювальної потужності та пам'яті, також це може призвести до того, що алгоритм класифікації надмірно підходить для навчальних зразків і погано узагальнює нові зразки. Вилучення ознак - загальний термін для методів побудови комбінацій змінних, щоб обійти ці проблеми, одночасно описуючи дані з достатньою точністю. Цей підхід корисний, коли розміри зображень великі, і для швидкого виконання таких завдань, як отримання зображень та узгодження зображень, потрібно мінімальне представлення функцій.

Гістограма орієнтованих градієнтів (HOG) використовується в додатках для обробки зображень для виявлення об'єктів, що є на зображенні або відео, що за визначенням є дескриптором ознак. Він використовує розсувне вікно виявлення, яке потім переміщується навколо зображення. Потім цей дескриптор показується навченому SVM, який потім класифікує його як "особа" або "не людина".

Технологія повітряної розвідки на висотах (HAAR). Хаароподібні функції це функції цифрового зображення, що використовуються при розпізнаванні об'єктів. Хаарова характеристика розглядає сусідні прямокутні області в певному

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

місці у вікні виявлення, підсумовує інтенсивність пікселів у кожній області та обчислює різницю між цими сумами. Деякі особливості HAAR: особливості краю (використовується для виявлення країв), функція лінії (використовується для виявлення ліній), функція чотирьох прямокутників (використовується для виявлення косої лінії).

Технологія згорткової нейронної мережі (CNN) – це клас нейронних мереж глибокого навчання. CNN представляють величезне нововведення у розпізнаванні зображень. Вони найчастіше використовуються для аналізу візуальних зображень і часто працюють за кадром при класифікації зображень. Модель CNN - це поєднання двох компонентів: частини вилучення ознак та частини класифікації. Шари згортки та об'єднання виконують вилучення особливостей.

Розпізнавання зображень широко використовується у виробництві. Інтелектуальне обслуговування – це процес використання пристроїв машинного навчання для моніторингу даних про машини та компоненти, часто за допомогою датчиків, для збору точок даних та ідентифікації сигналів або вжиття коригувальних дій до того, як активи або компоненти вийдуть з ладу.

Підвищення безпеки. Поєднання камер реального часу та аналітики відео дозволяє обладнання працювати з більшою ефективністю та підвищеною безпекою. Ідея полягає також у застосуванні штучного інтелекту на основі глибокого навчання для відстеження людей та прогнозування руху обладнання, щоб уникнути небезпечних взаємодій, покращуючи тим самим безпеку.

Розпізнавання зображень у страхуванні. Власник автомобіля може фотографувати відразу після автопригоди до відділу розгляду претензій. Відшкодування збитків може бути визначено відповідно до виявлених деталей автомобіля. Інформація про витрати на ремонт та логістику згодом може бути надана як страховику, так і власнику автомобіля. Очікується, що технологія значно скоротить процес з тижнів до одного дня.

Використання супутникових знімків допомагає знімати і контролювати великі сільськогосподарські території вдень і вночі. Супутникові знімки дозволяють страховикам отримувати в реальному часі оновлення потенційних

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

небезпек на полях. Дані із зображень з межею страхувальника допоможуть страхуванню більш точно оцінити ризики.

Інтелектуальне відеоспостереження. Це найсучасніша відеотехнологія, яка фіксує злочинні дії в будинках, на підприємствах та в муніципалітетах на основі уподобань користувача.

Споживча інформація про цифровий маркетинг. Штучний інтелект також може бути корисним для збору думок споживачів. Ви знаєте, як важливо розуміти, що думає та відчуває ваша аудиторія, і, зокрема, їх публікації із зображеннями – це великі підказки.

Штучний інтелект також може допомогти автоматизувати обслуговування клієнтів, яке ви надаєте через соціальні мережі. Наприклад, якщо користувач повідомляє про проблему з вашою службою, ви можете швидко відповісти та виправити її.

Пошук неприйнятної вмісту. Відповідний вміст на сайтах електронної комерції можна виявити та видалити за допомогою технології розпізнавання зображень. Одним із способів цього є розпізнавання логотипів, за допомогою якого законний бренд може знаходити підроблені логотипи підроблених товарів та видаляти будь-який невідповідний або явний вміст, помилково пов'язаний із цим брендом.

Розглянуті основні тенденції щодо використання алгоритмів розпізнавання зображень та сфер їх використання. Як можна було побачити використання алгоритмів розпізнавання є сучасною тенденцією в системах автоматизованого керування транспортом.

2.3 Алгоритм розпізнавання та класифікації дорожніх знаків

Для реалізації програмного додатку аналізу цифрових зображень та виділення на них об'єктів інтересу спроектовано алгоритм детекції та виділення дорожніх знаків на основі підкреслення характерних областей. Використання

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

цифрових фільтрів дозволяє підвищити якість проведення попередньої обробки при незначних часових затратах. Часові втрати при проведенні є відносно незначними та дозволяють значно зменшити час при подальшій обробці зображень, особливо на етапах сегментації та розпізнавання, оскільки дозволяють видалити малоінформативні артефакти на ще до початку основної роботи з вхідним зображенням.

Запропонований алгоритм містить наступні етапи роботи:

Етап 1. Ввід цифрового растрового зображення.

Етап 2. Проведення первинної аналізу цифрового зображення (визначення типу зображення, розмірів зображення тощо).

Етап 3. Якщо вхідне зображення не бінарне, то проводимо бінаризацію, інакше перехід на наступний етап.

Етап 4. Проводимо фільтрацію отриманого зображення для усунення дрібних артефактів та зменшення зашумленості зображення. Для цієї операції використовуємо цифрові фільтри.

Етап 5. Проводимо співставлення отриманого бінарного та вхідного зображення. Якщо білим пікселям на бінарному зображенні не відповідає один з основних кольорів які використовуються для створення дорожніх знаків (білий, червоний або синій), то такі пікселі визнаються хибно виділеними та отримують мітки фону.

Етап 6. Формуємо область для порівняння з еталонними зображеннями. Для цього переформатовуємо отриманий прямокутник, що описує виділений об'єкт до розмірів елементів вибірки еталонних зображень (чим більша кількість елементів вибірки і чим більша роздільна здатність тим більша точність розпізнавання проте зменшується швидкість роботи алгоритму).

Етап 7. Проводиться перевірка отриманої прямокутної області з еталонними областями. При цьому для зменшення кількості перевірок враховується колір області контуру. При цьому у відповідність до кожного еталону ставиться деяка вага подібності.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Етап 8. Вибираються еталони з максимальною вагою подібності, якщо таких еталонів декілька то проводиться перевірка внутрішнього вмісту вхідної області для уточнення вибору.

Етап 9. Вивід отриманих результатів.

Запропонований алгоритм містить всі етапи обробки цифрових зображень, що реалізуються в сучасних системах та надає можливість гнучкого проектування структури майбутнього програмного додатку його особливістю є те, що процес детекції та класифікації відбувається на основі простих математичних операцій, що значно спрощує процес реалізації та збільшує швидкість роботи програми. Графічно запропонований алгоритм можна представити у вигляді наступної блок-схеми (рисунок 2.3):

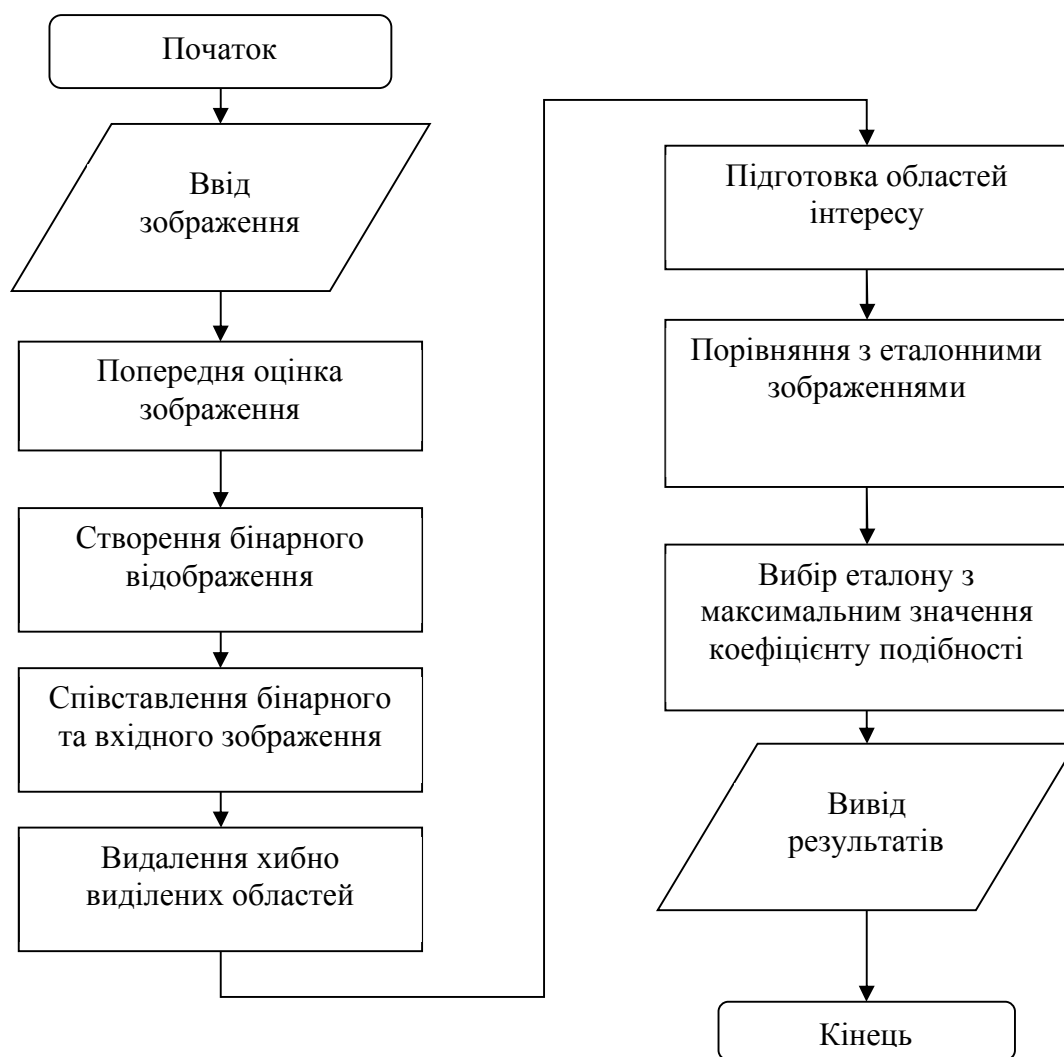


Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму виділення та класифікації дорожніх знаків на зображенні

До переваг розробленого підходу такі:

- простоту реалізації та високу швидкість роботи;
- проста математична база при проектуванні аналізу зображень;
- можливість обробки зображень у реальному часі.

Серед недоліків є:

- залежність роботи програми від результатів попередньої обробки;
- вплив зовнішніх природних чинників (світло, туман тощо) на результати роботи;
- складність підбору оптимального числа еталонів для процесу розпізнавання.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ПРОГРАМНА СИСТЕМА ВИДІЛЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ДОРОЖНІХ ЗНАКІВ

3.1 Структура автоматизованої системи аналізу зображень

Розробка системи велася на мові програмування C ++ в середовищі розробки Microsoft Visual Studio 2019. C ++ компільований мова програмування загального призначення, поєднує властивості як високорівневих, так і низькорівневих мов програмування. У порівнянні з його попередником, мовою програмування C, найбільшу увагу приділено підтримці об'єктно-орієнтованого і узагальненого програмування. Мова програмування C++ широко використовується для розробки програмного забезпечення. А саме, різноманітних прикладних програм, розробка операційних систем, драйверів пристроїв, а також відео ігор і багато іншого. Існує кілька реалізацій мови програмування C ++ – як безкоштовних, так і комерційних. Важливим критерієм на користь вибору даної мови програмування для розробки є досвід розробки на ньому, отриманий за час навчання.

З метою спрощення процесу розробки було вирішено використовувати бібліотеку комп'ютерного зору з відкритим вихідним кодом (Open Source Computer Vision Library) OpenCV. Вона містить понад 500 функцій, які можуть працювати в реальному часі. Ця бібліотека містить алгоритми для обробки зображень, розпізнавання образів, роботи з відео, для стеження за об'єктами та багато інших функції для роботи з цифровими зображеннями.

Спочатку OpenCV створювалася для дослідження машинного зору, розробки та оптимізації коду. Додатки повинні були реалізацію принципу кросплатформенності, оптимізованими, при цьому код не обов'язково повинен бути відкритим.

В структуру даної бібліотеки входять такі основні елементи:

– ядро, яке містить базові структури, матричну алгебру, алгоритми роботи з пам'яттю, алгоритми перетворення типів, алгоритми для про-ництва помилок, функції для роботи з 2D графіками;

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– модуль обробки зображень, що включає функції для роботи з цифровими зображеннями (перетворення, фільтрація тощо), функції для аналізу зображень (пошук контурів, гістограми тощо), алгоритми аналізу рухів, відстежування за об'єктами, алгоритми розпізнавання об'єктів (осіб, предметів);

– машинне навчання, цей модуль містить функції для класифікації і аналізу даних;

– модуль для створення графічного інтерфейсу користувача, який містить програмні засоби для реалізації вікон, візуалізації зображень, захоплення відео з файлів і камер, читання/запис зображень тощо;

– вузькоспеціалізовані функції, такі як просторовий зір, знаходження та опис рис обличчя, пошук стереосоответствій, опис текстур тощо.

Відкрита ліцензія для OpenCV була складена таким чином, щоб було можливо створювати комерційні додатки, використовуючи будь-які можливості OpenCV. Більшою мірою завдяки цим умовам існує велика спільнота користувачів, що включає в себе такі великі компанії, як IBM, Microsoft, Intel, Sony, Google, і це далеко не повний список, а також науково-дослідні центри, такі як Стенфорд, Массачусетський технологічний інститут, CMU, Кембридж.

При проектуванні структури програмного додатку використано модульний підхід, що в подальшому зозволило отримати такі переваги:

– програмні модулі як правило реалізуються у вигляді автономних розробок, реалізують конкретну задачу, використовують при цьому тільки вхідні дані або дані призначені тільки для відповідного модуля. внутрішні реалізації або модифікації модуля не пов'язані з внутрішніми змінними інших модулів. тому окремі модулі можуть реалізовуватись та регулюватися різними розробниками самостійно;

– програмні додатки на основі модульного підходу мають високу надійність та скійкість до аварійних ситуацій;

– є багато природних контрольно-пропускних пунктів, що дозволяють стежити за ходом проекту за допомогою управління та інформації.

Розмір великого програмного забезпечення обчислюється сотнями модулів, десятками і сотнями тисяч машинних інструкцій. Існують програмні

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

засоби, що містять до двох-трьох десятків структурних ієрархічних рівнів, побудованих з модулів.

Перед етапом програмної реалізації спроектована структура програмного додатку виділення та класифікації зображень дорожніх знаків (рисунок 3.1)

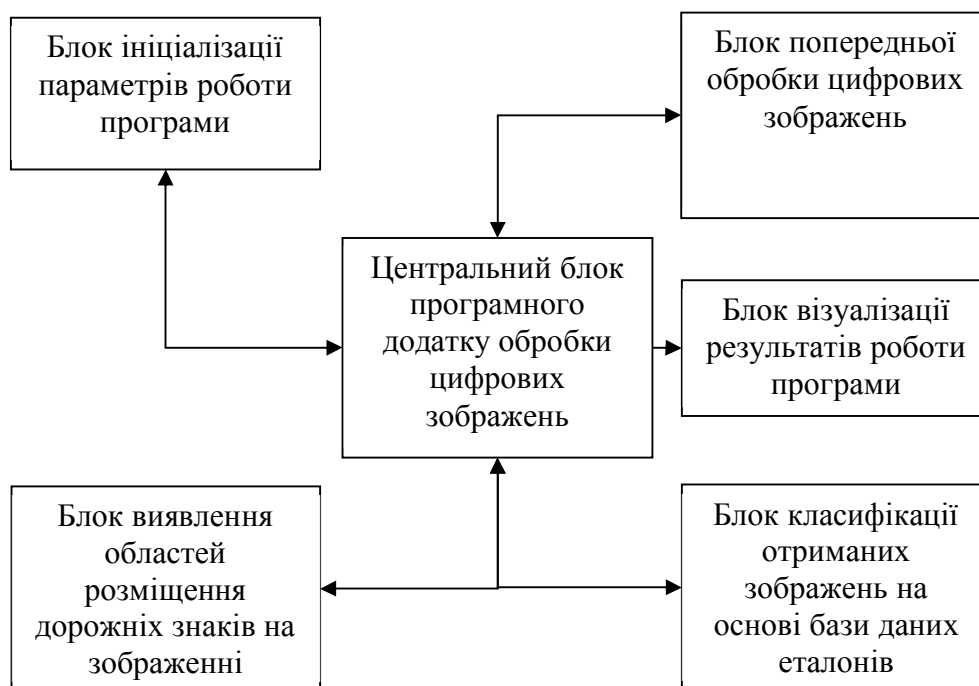


Рисунок 3.1 – Структура програмного додатку виявлення та класифікації зображень дорожніх знаків

При проектуванні структури програмного додатку використаний модульний принцип та об'єктно-орієнтований підхід. Дані проектні рішення дозволять в подальшому без значного впливу на архітектуру програмного рішення змінювати існуючі функції або додавати нові.

До основних структурних модулів, що передбачені в програмі слід віднести:

– “Центральний блок програмного додатку обробки цифрових зображень” містить набір функцій для організації взаємодії між окремими блоками системи. Функціональний склад даного блока постійно змінюється в залежності від додавання чи видалення окремих структурних блоків або при зміні інтерфейсів між окремими елементами. Даний блок є основною

структурною одиницею програми. При його пошкодженні працездатність програмної системи не можлива.

– “Блок візуалізації результатів роботи програми” – складова частина графічного інтерфейсу користувача, призначена для відображення результатів роботи програми на кожному з етапів роботи програми. Містить ряд функцій, що дозволяють відобразити поточний стан програмної системи та процес протікання обробки цифрового зображення. Основне призначення – відображення на екрані користувача поточного стану роботи програми.

– “Блок попередньої обробки цифрових зображень” – один з головних структурних елементів програми, оскільки від результатів його роботи в багато чому залежать отримані в кінцеві дані. В його склад входять функції що забезпечують початковий аналіз вхідного зображення (тип, розмір), встановлення параметрів роботи програми під конкретне вхідне зображення (виділення пам’яті) тощо.

– “Блок виявлення областей розміщення дорожніх знаків на зображенні” – один з двох функціональних блоків, що безпосередньо відповідають за результати роботи програми. В даному модулі реалізовано функції бінаризації вхідного зображення, порівняння з вхідним зображенням для видалення швидко виділених областей, формування областей інтересу з виявленими на них дорожніми знаками. Даний модуль призначений для виявлення на зображенні областей інтересу з дорожніми знаками або підтвердження що таких на зображенні немає.

– “Блок встановлення параметрів роботи програмного додатку” – дозволяє користувачеві вносити зміни в процес роботи програми, корегувати елементи інтерфейсу, змінювати файли параметрів тощо. Основне призначення – надати користувачеві можливість створити для себе більш зручний та дружній інтерфейс.

– “Блок класифікації отриманих зображень на основі бази даних еталонів” – даний структурний елемент надає можливість програмі провести класифікацію отриманих з попередніх кроків даних на основі порівняння з еталонними зображеннями.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для швидкого оволодіння практичними навичками роботи з системою розроблений простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс (рисунок 3.2):

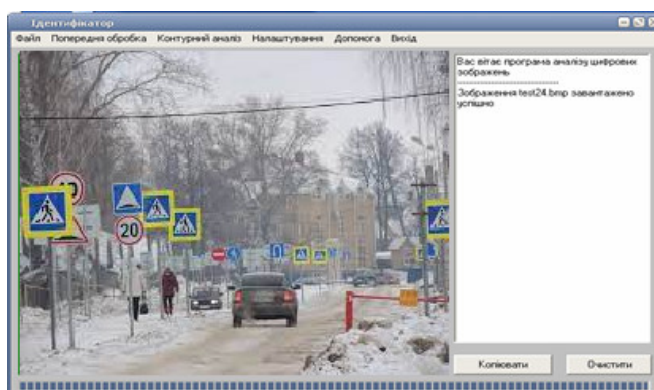


Рисунок 3.2 – Головне вікно розробленої системи

Дана структура та інтерфейс сприяє швидкому опануванню та простоті в роботі з програмною системою, а також дозволяє вільно нарощувати систему як в вертикальному напрямку (шляхом додавання нових модулів системи) так і в горизонтальному (шляхом додавання нових алгоритмів в відповідні функціональні модулі).

Перед процесом програмної реалізації було виконано моделювання запропонованої структури програмного додатку. На даному етапі були проаналізовані усі місця взаємодії окремих модулів програмної системи, враховано рівні взаємодії між користувачем та розробкою, виставлені права доступу користувачів до окремих параметрів та функції роботи програмного додатку. Окрім того, було проаналізовано ситуації поведінки програмного додатку під час виникнення непередбачуваних аварійних ситуацій, та моливості програми самостійно усунути їх наслідки, серед яких відмова окремих модулів, некоректні вхідні дані, відсутність зв'язку з базою даних еталонів тощо. Для проведення попереднього моделювання розроблювального програмного додатку, використовуються ряд UML діаграм. Для визначення можливих ситуацій взаємодії між різними типами користувачів використаємо діаграму прецедентів. Діаграма прецедентів для програмного додатку виявлення та класифікації дорожніх знаків наведено на рисунку 3.3.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

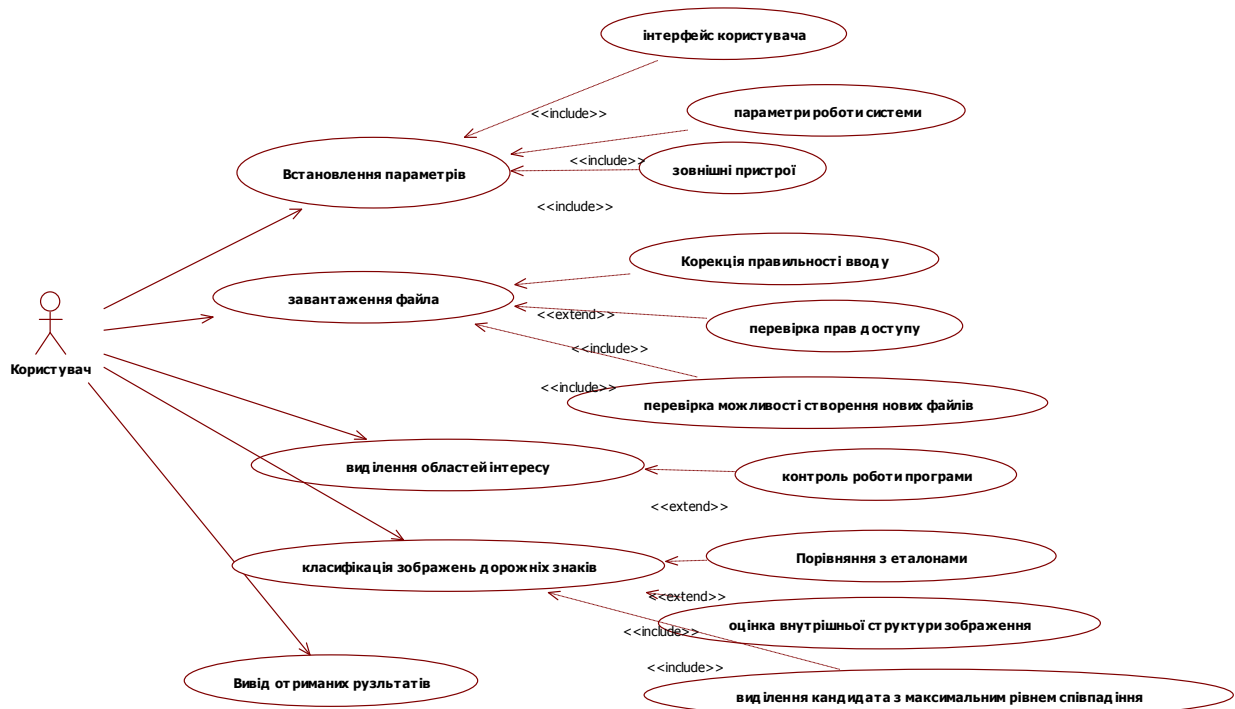


Рисунок 3.3 – Моделювання додатку на основі Use Case Diagram

До групи акторів було виділено:

"Користувач" – користувач програмного додатку, основними завданнями якого буде завантажувати в програмну реалізацію цифрові зображення, а в подальшому і відеодані та слідкувати за якістю отриманих результатів після процесу аналізу зображення. Серед основних функцій, що виконуватиме "Користувач" є робота з параметрами програми, вибір та завантаження зображень, корекція бази даних еталонних зображень та перевірка їх актуальності, встановлення допустимих порогів похибки розпізнавання, вибір алгоритмів для попередньої обробки та оцінювання результатів проведених маніпуляцій з вхідними зображеннями.

Для більш детального аналізу необхідних функцій, що потрібно надати відповідній групі користувачів, було проведено моделювання дій групи "Користувач", під час роботи з програмою-аналізатором. Приклад візуалізації результатів проведеного моделювання запропонованої архітектури програмного додатку за допомогою діаграми послідовностей наведено на рисунку 3.4.

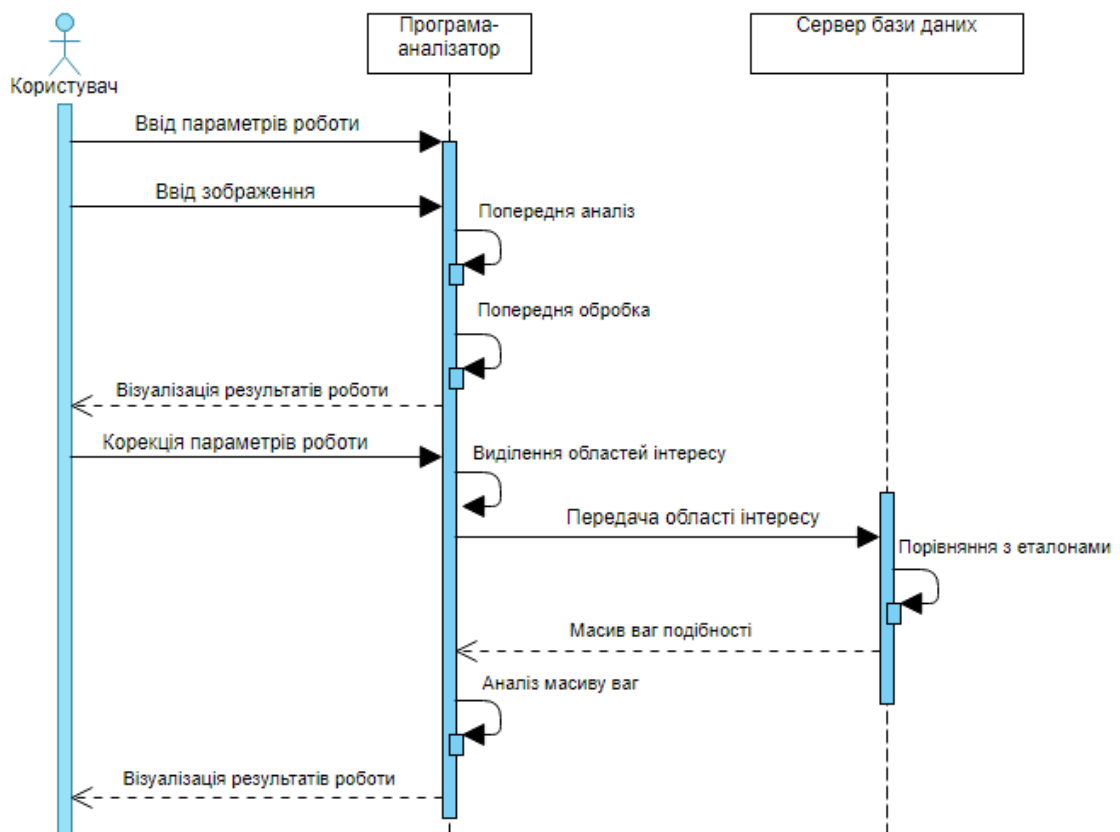


Рисунок 3.4 – Послідовність взаємодії "Користувача" з програмою-аналізатором

Виділення одного типу акторів, що будуть взаємодіяти з розробленим програмним додатком є цілком достатнім для коректної роботи системи та виконання усіх поставлених перед програмним додатком завдань. Вибір лише однієї групи пояснюється тим, що програмний модуль є скоріш не самостійною одиницею, а частиною більш складних систем, наприклад систем автоматичного управління транспортними засобами.

3.2 Підсистеми аналізу цифрових зображень

Як було проілюстровано вище, програмна розробка має дві основні фази роботи, це фаза виявлення зони інтересу та процесу класифікації отриманих даних з подальшим виводом результатів роботи на екран. Приклад структури кожного з даних етапів наведено на рисунку 3.5

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

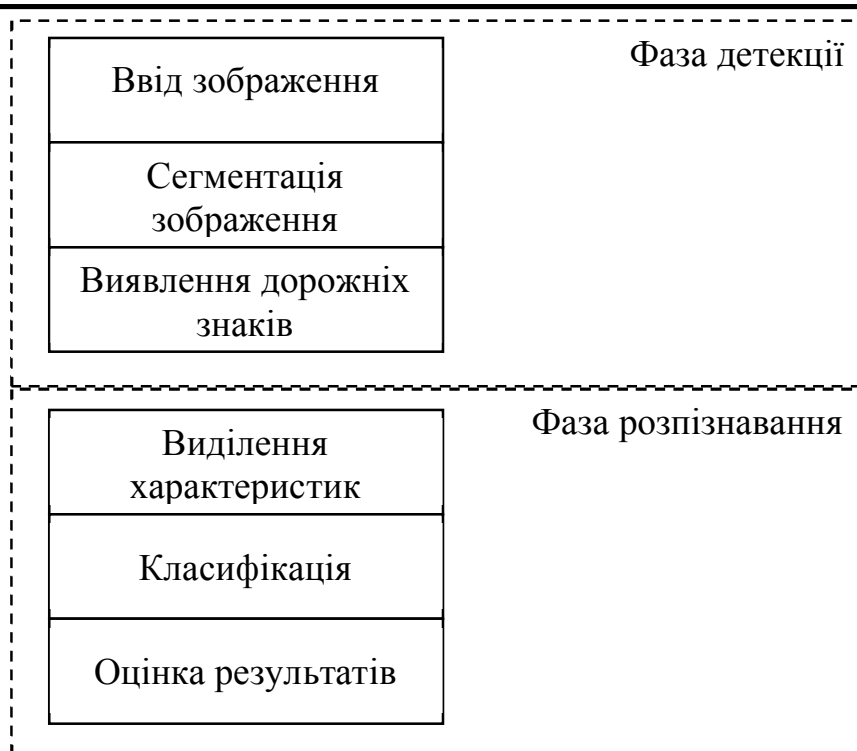


Рисунок 3.5 – Основні етапи роботи програми

Тому на основі даної структури, а також на основі аналізу особливостей зображень дородніх знаків. Дорожні знаки, світлофори та інші дорожні пристрої використовуються для регулювання, попередження, вказання напрямку або інформувати учасників дорожнього руху. Вони допомагають досягти прийняттого рівня дорожнього руху та підвищити безпеку завдяки впорядкованому та передбачуваному руху транспортних засобів та пішоходів. Дорожні знаки призначені для легкого розпізнавання водіями оскільки їх форми та кольори легко відрізнити від оточення.

При розміщенні дорожніх знаків виконуються ряд вимог, серед яких: вони розміщені в двох метрах від дороги, на висоті 1,6 метрів від дороги, що використовуються автомобілями з двигунами, максимальна кількість знаків на одній полосі – три, при цьому найважливіший знак внизу. Відповідно до європейських правил усі знаки повинні мати відбивний шар, доданий на селективних частинах знака.

Дорожні знаки характеризуються низкою ознак, що їх роблять впізнаваний щодо навколишнього середовища:

– дорожні знаки розроблені, виготовлені та встановлені відповідно до строгих вимог законодавства;

– розроблені у фіксованих двовимірних фігурах, таких як трикутники, коло, восьмикутники або прямокутники;

– кольори знаків вибрані для контрасту з оточенням, щоб їх легко можна було ідентифікувати водіям;

– кольори регулюються категорією знаків;

– інформація на знаку має один колір, а решта знака – інший колір.

– відтінок фарби, що покриває знак, повинен відповідати конкретній довжина хвилі у видимому спектрі;

– знаки розташовані у чітко визначених місцях щодо дороги, так що водій може більш-менш передбачити розташування цих знаків;

– можуть містити піктограму, рядок символів або і те і інше;

– використання фіксованих текстових шрифтів і висоти піктограм.

Обробка зображень полягає у виконанні над нею певних дій для отримання певного результату (поліпшення якості, модифікація зображення, вибір областей тощо). Вибір подібних областей – одне з найважливіших завдань цифрової обробки зображень. Сьогодні відомо багато алгоритмів сегментації об'єктів, але більшість засновані на аналізі функції яскравості.

Виходячи з апріорної інформації про те, що кольорова гама дорожніх знаків завжди відома та чітко відрізняється від навколишнього середовища, особливо якщо не відбувається втручання природних факторів або попадання в кадр штучних завад то для виділення можливих областей розташування дорожніх знаків можна використовувати алгоритм порогової сегментації. Пошук областей інтересу в автоматичному режимі збільшує швидкість обробки зображень проте підвищує роль попередньої обробки в процесі аналізу.

Оскільки вхідне зображення базується на RGB, для сегментації необхідно отримати подання вхідного зображення на основі яскравості. Перехід з RGB на HLS здійснюється за такими формулами:

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H = \arcsin\left(\sqrt{\frac{3}{2}}(G - R) / S\right),$$

$$L = (R + G + B) / 3,$$

$$S = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 - RG - GB - RB}.$$

Корекція яскравості зображення. Візуальний аналіз растрових зображень може ускладнюватись через низьку яскравість окремих ділянок зображення або їх низьку контрастність порівняно з іншими елементами зображення. Методи просторового оброблення зображень задаються таким рівнянням:

$$g(x,y) = T[f(x,y)],$$

де $f(x,y)$ - піксель вхідного зображення,

$g(x,y)$ - піксель вихідного зображення,

T – деякий оператор або перетворення над f , визначене в околі пікселя (x,y) , тобто методи просторового оброблення зображень здійснюють перетворення числових значень пікселів зображення.

У випадку перетворення яскравості зображення всі маніпуляції здійснюються над поточним пікселем зображення, тому окіл пікселя (x,y) має розмір 1×1 , значення $g(x,y)$ залежить лише від значення f , а T називають функцією перетворення яскравості. До функцій перетворення яскравості належить γ -корекція. Для кольорових зображень під терміном яскравість вважається значення кольорової компоненти зображення в даному діапазоні кольору.

Інверсія вхідного зображення. Для отримання інвертованого вхідного зображення необхідно до кожного значення пікселя кольорового каналу (для кольорових зображень) та яскравості (для монохромних) відняти 256 по модулю. Даний підхід доцільно використовувати як додатковий елемент боротьби з зашумленістю зображень.

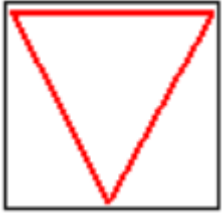

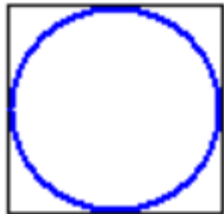



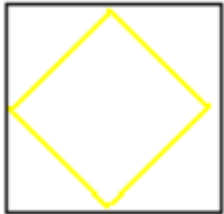

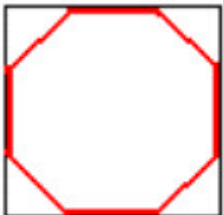

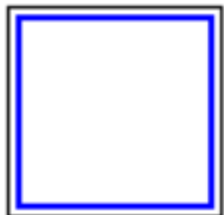

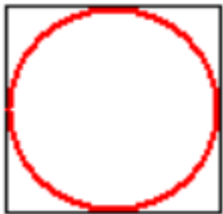

$$fi(x,y) = |256 - f(x,y)|,$$

де $f(x,y)$ значення яскравості пікселя до інверсії.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для швидкого вибору значень з масиву еталонів використаємо додатковий аналіз отриманої області інтересу на основі контурних функцій та кольорової ознаки виділених об'єктів. В таблиці 3.1 наведено можливі варіанти контурної функції та її кольорові характеристики.

Таблиця 3.1 – Приклади можливих форм та кольору границь дорозніх знаків

№ п/п	Тип форми	Дорожній знак	№ п/п	Тип форми	Дорожній знак
1			5		
2			6		
3			7		
4					

Валідація отриманих результатів проводиться шляхом перевірки отриманих результатів користувачем, та підтвердження або відхилення запропонованого варіанту. При відхиленні варіанту користувач повинен вказати правильну відповідь, яка занесеться в базу даних еталонних зображень. Наший підхід має на меті вирішення двох задач. По-перше реалізовується процес навчання програми на основі нових результатів, а по-друге надається можливість користувачеві вносити правки в роботу програми, що пришвидшує процес навчання.

3.3 Тестування модуля ідентифікації об'єктів на цифрових зображеннях

Для проведення тестування розробленого програмного додатку використовувався персональний комп'ютер з наступними технічними параметрами (таблиця 3.2):

Таблиця 3.2 – Параметри персонального комп'ютера для тестування програмного додатку

Параметр	Значення
корпус	Zalman Z1 Black + Chieftec APS-550SB
HDD	1000GB
відеокарта	Asus PH-GTX1060-3G
ОЗУ	4Gb
процесор	AMD Ryzen 3 2200G BOX 120
материнська плата	Asus B350M-E 90
діагональ дисплея	19
роздільна здатність дисплея	1920 x 1080
тип матриці	IPS
частота оновлення	60 Гц
інтерфейси	HDMI
відношення сторін	16: 9

Технічні характеристики робочої станції є достатніми для проведення тестування розробленого програмного додатку та отримання достовірних даних про коректність роботи, швидкість опрацювання отриманих даних.

Для оцінки роботи програмного додатку розглянемо декілька варіантів груп вхідних зображень вхідних зображень, що будуть відрізнятися між собою ступенем зашумленості від практично ідеальних умов (знак знаходиться в прямій видимості, погода сонячна, знак повністю видимий), до найгіршого варіанту (знак знаходиться під деяким кутом, погода пасмурна, частина знаку прикрита

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

стороннім предметом). Результати тестування програмного додатку з різними групами вхідних зображень наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.2 – результати тестування програмного додатку

Номер групи	Розашування	Погода	Видимість	Відсоток коректних спрацювань
1	пряме	сонячно	повна	>99%
2	пряме	сонячно	часткова (до 75%)	>97%
3	пряме	сонячно	часткова (до 50%)	>63%
	пряме	пасмурно	повна	>97%
	пряме	пасмурно	часткова (до 75%)	>90%
	пряме	пасмурно	часткова (до 50%)	>59%
	під кутом	сонячно	повна	>95%
	під кутом	сонячно	часткова (до 75%)	>88%
	під кутом	сонячно	часткова (до 50%)	>53%
	під кутом	пасмурно	повна	>87%
	під кутом	пасмурно	часткова (до 75%)	>73%
	під кутом	пасмурно	часткова (до 50%)	>50%

За результатами експериментів розроблений алгоритм ідентифікації об'єктів на зображенні обробляв зображення в розумний час і з максимальною точністю.

Перевагами розробленого алгоритму є:

- можливість роботи із зображеннями різних типів (бінарні, кольорові, з однаковими типами та різними типами об'єктів на зображенні тощо);
- здатність працювати з об'єктами різної складності;

Недоліком запропонованого алгоритму є:

- додатковий час, витрачений на попередній аналіз вхідного зображення.
- складність ідентифікації з сильною подібністю предметів.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Метою техніко – економічного розділу кваліфікаційної роботи є здійснення економічних розрахунків, спрямованих на визначення економічної ефективності програмного додатку виділення та класифікації дорожніх знаків на цифрових зображеннях на основі порівнянн з еталоном та прийняття рішення про його подальший розвиток і впровадження або ж недоцільність проведення відповідної розробки. Для проведення даного дослідження необхідно провести ряд розрахунків.

4.1 Розрахунок витрат на розробку програмного додатку

Витрати на розробку і впровадження програмного додатку ідентифікації об'єктів цифрових зображень на основі аналізу їх контурів даних (K) включають:

$$K = K_1 + K_2,$$

де K_1 - витрати на розробку апаратного та програмного забезпечення грн.;

K_2 - витрати на відлагодження і дослідну експлуатацію програми рішення задачі на комп'ютері, грн.

Витрати на розробку апаратних та програмних засобів включають:

- витрати на оплату праці розробників ($B_{оп}$);
- витрати на відрахування у спеціальні державні фонди ($B_{ф}$);
- витрати на матеріали та комплектуючі ($П_е$);
- накладні витрати (H);
- інші витрати ($I_е$)
- витрати на використання комп'ютерної техніки ($B_{КТ}$) .

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Розрахунок витрат на оплату праці.

Витрати на оплату праці включають заробітну плату (ЗП) всіх категорій працівників, безпосередньо зайнятих на всіх етапах проектування. Розмір ЗП обчислюється на основі трудоемності відповідних робіт у людино-днях та середньої ЗП відповідних категорій працівників.

У розробці проектного рішення задіяні наступні спеціалісти - розробники, а саме: керівник проекту; студент-дипломант; консультант техніко-економічного розділу (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунку витрат на оплату праці

№п/п	Посада виконавців	Місячний оклад, грн.
1	Керівник ДП, викладач	7449
2	Консультант техніко-економічного розділу, доцент	7449
3	Студент	1400

Витрати на оплату праці розробників проекту визначаються за наступною формулою (4.1):

$$B_{OP} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M n_{ij} \cdot t_{ij} \cdot C_{ij} , \quad (4.1)$$

де n_{ij} – чисельність розробників i -ої спеціальності j -го тарифного розряду;
 t_{ij} – затрачений час на розробку проекту співробітником i -ої спеціальності j -го тарифного розряду, год;

C_{ij} – годинна ставка працівника i -ої спеціальності j -го тарифного розряду.

Середньо годинна ставка працівника може бути розрахована за такою формулою (4.2):

$$C_{ij} = \frac{C_{ij}^0(1+h)}{PЧ_i}, \quad (4.2)$$

де C_{ij} – основна місячна заробітна плата розробника i -ої спеціальності j -го тарифного розряду, грн.;

h – коефіцієнт, що визначає розмір додаткової заробітної плати (при умові наявності доплат);

$PЧ_i$ - місячний фонд робочого часу працівника i -ої спеціальності j -го тарифного розряду, год. (приймаємо 168 год.).

Коефіцієнт h , який визначає розмір додаткової заробітної плати, для керівника та консультанта техніко-економічного розділу дорівнює 0,47.

Результати розрахунку записують до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Розрахунок витрат на оплату праці

№ п/п	Посада виконавців	Час розробки, год	Погодинна заробітна плата, грн/год.	Витрати на розробку, грн
1	Керівник ДП, старший викладач	16	64,3	1028,8
2	Консультант техніко-економічного розділу, доцент	2	59,9	119,8
3	Студент	144	8,33	1199,52
Разом				2348,12

Відрахування на соціальні заходи. Величну відрахувань у спеціальні державні фонди визначають у відсотковому співвідношенні від суми основної та додаткової заробітних плат. Згідно діючого нормативного законодавства сума відрахувань у спеціальні державні фонди складає 20,5% від суми заробітної плати:

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$B_{\Phi} = \frac{20,5}{100} \cdot 2348,12 = 481,36 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на матеріали та комплектуючі.

Загальна сума витрат на матеріальні ресурси (B_M) визначається за формулою (4.3):

$$B_M = \sum_{i=1}^n K_i \cdot C_i, \quad (4.3)$$

де K_i - витрата i -го типу матеріалу, натуральні одиниці вимірювання;

C_i - ціна за одиницю i -го типу матеріалу, грн.;

i - тип матеріального ресурсу;

n - кількість типів матеріальних ресурсів.

Таблиця 4.3 - Зведені розрахунки матеріальних витрат

№ п/п	Найменування матеріальних ресурсів	Од. виміру	Факт. витрачено матеріалів	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн	Транспортні витрати (10% від суми)	Загальна сума, грн
	Допоміжна література	шт	1	1000	1000	100	1100
	Папір (формат А4)	уп	2	100	200	20	220
	Ручка кулькова	шт	2	10	20	2	22
	Олівець простий	шт	2	10	20	2	22
	Диски CD-R	шт	2	20	40	4	44
	Зошит, 96 арк	шт	1	50	50	5	55
	Тонер для принтера	уп	1	90	90	9	99
	Канцелярські маркери (синій, зелений)	шт	2	20	40	4	44
	Р а з о м						1606,00

Витрати на використання комп'ютерної техніки.

Витрати на використання комп'ютерної техніки (B_{KT}) включають витрати на амортизацію комп'ютерної техніки, витрати на користування програмним забезпеченням, витрати на електроенергію, що споживається комп'ютером. За даними обчислювального центру ЗУНУ для комп'ютера типу IBM PC/ATX вартість години роботи становить 12 грн. Середній щоденний час роботи на комп'ютері – 2 години. Розрахунок витрат на використання комп'ютерної техніки приведений в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4- Розрахунок витрат на використання комп'ютерної техніки

№ п/п	Назва етапів робіт, при виконанні яких використовується комп'ютер	Час використання комп'ютера, год.	Витрати на використання комп'ютера грн.
1	Проведення досліджень та оформлення їх результатів у вигляді звіту	60	7200
2	Оформлення техніко-економічного розділу	8	96
3	Оформлення ДП	12	144
Разом		80	960

Накладні витрати.

Накладні витрати проектних організацій включають три групи видатків: витрати на управління, загальногосподарські витрати, невиробничі витрати. Вони розраховуються за встановленими відсотками до витрат на оплату праці. Середньостатистичний відсоток накладних витрат приймемо 150% від заробітної плати:

$$H = 1,5 \cdot 2348,12 = 3522,18 \text{ (грн).}$$

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Інші витрати.

Інші витрати є витратами, які не враховані в попередніх статтях. Вони становлять 10% від заробітної плати:

$$I_B = 2348,12 \cdot 0,1 = 234,81 \text{ (грн).}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення складають:

$$K_1 = B_{OP} + B_{\Phi} + B_M + H + I_B + B_{KT},$$

$$K_1 = 2348,12 + 481,36 + 1606,00 + 3522,18 + 234,81 + 960,00 = 8849,47 \text{ (грн).}$$

Витрати на відлагодження і дослідну експлуатацію програмного продукту визначаємо за формулою (4.4):

$$K_2 = S_{m.z.} \cdot t_{vid} \quad (4.4)$$

де $S_{m.z.}$ - вартість однієї машино-години роботи ПК, грн./год;

t_{vid} - комп'ютерний час, витрачений на відлагодження і дослідну експлуатацію створеного програмного продукту, год.

Загальна кількість днів роботи на комп'ютері дорівнює 30 днів. Середній щоденний час роботи на комп'ютері – 2 години. Вартість години роботи комп'ютера дорівнює 12 грн., тому $K_2 = 12 \cdot 60 = 720$ грн.

4.2 Визначення експлуатаційних витрат

Для оцінки економічної ефективності розроблювальної системи моніторингу слід порівняти її з аналогом, тобто існуючим програмним забезпеченням ідентичного функціонального призначення.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлуатаційні одноразові витрати по програмному забезпеченню і аналогу включають вартість підготовки даних і вартість роботи комп'ютера (за час дії програми):

$$E_{\Pi} = E_{1\Pi} + E_{2\Pi},$$

де E_{Π} - одноразові експлуатаційні витрати на ПЗ (аналог), грн.;

$E_{1\Pi}$ - вартість підготовки даних для експлуатації ПЗ (аналог), грн.;

$E_{2\Pi}$ - вартість роботи комп'ютера для виконання проектного рішення (аналог), грн.

Річні експлуатаційні витрати $B_{E\Pi}$ визначаються за формулою:

$$B_{E\Pi} = E_{\Pi} * N_{\Pi},$$

де N_{Π} - періодичність експлуатації ПЗ (аналог), раз/рік.

Вартість підготовки даних для роботи на комп'ютері визначається за формулою:

$$E_{1\Pi} = \sum_{l=1}^n n_i t_i c_i,$$

де i - категорії працівників, які приймають участь у підготовці відповідних даних ($i=1,2,\dots,n$);

n_i - кількість працівників i -ої категорії, осіб.;

t_i - трудомісткість роботи співробітників i -ої категорії по підготовці даних, год.;

c_i - середнього годинна ставка працівника i -ої категорії з врахуванням додаткової заробітної плати, що знаходиться із співвідношення:

$$c_i = \frac{c_i^0 (1+b)}{m},$$

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де c_i^0 - основна місячна заробітна плата працівника i -ої категорії, грн.;

b - коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату (прийmemo 0,57);

m - кількість робочих годин у місяці, год.

Для роботи з даними як для проектного рішення так і аналогу потрібен один працівник, основна місячна заробітна плата якого складає: $c = 6061$ грн.

Тоді:

$$c_1 = \frac{6061(1 + 0,57)}{22 * 8} = 56,64 \text{ грн/год}$$

Трудомісткість підготовки даних для проектного рішення складає 1 год., для аналога 1,5 год.

Таблиця 4.5 - Розрахунок витрат на підготовку даних та реалізацію проектного рішення на комп'ютері

№	Час роботи співробітників, год.	Середньогодинна заробітна плата, грн./год.	Витрати, грн.
	Проектне рішення		
1	1	56,64	56,64
	Аналог		
1	1,5	56,64	84,95

Витрати на експлуатацію комп'ютера визначається за формулою:

$$E_{2П} = t * S_{MG}$$

Де t - витрати машинного часу для реалізації рішення (аналогу), год.;

S_{MG} - вартість однієї години роботи комп'ютера, грн./год.

$$E_{2П} = 1 * 12 = 12 \text{ грн.}; E_{2A} = 1,5 * 12 = 18 \text{ грн.}$$

$$E_{П} = 56,64 + 12 = 68,64 \text{ грн.}; E_{A} = 84,95 + 12 = 96,95 \text{ грн.}$$

$$B_{EП} = 68,64 * 252 = 17297,28 \text{ грн.}; B_{EA} = 96,95 * 252 = 24431,4 \text{ грн.}$$

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обчислення накладних витрат.

Накладні витрати пов'язані з обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління підприємства (фірми) та створення необхідних умов праці.

В залежності від організаційно-правової форми діяльності господарюючого суб'єкта, накладні витрати можуть становити 60–100 % від суми основної та додаткової заробітної плати працівників.

$$H_B = 0,7 * B_{OP} = 0,7 * (c_1 * 168), \quad (4.7)$$

де H_B – накладні витрати.

$$H_B = 0,7 * 9515,52 = 6660,86 \text{ грн.}$$

Складання кошторису витрат та визначення собівартості.

Результати проведених розрахунків зведемо у таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 - Кошторис витрат ($B_{КС}$)

№ п/п	Найменування витрат	Сума витрат, грн.
1	Витрати на оплату праці (B_{OP})	2348,12
2	Відрахування у спеціальні державні фонди ($B_{Ф}$)	481,36
3	Витрати на матеріали та комплектуючі (B_M)	1606,00
4	Накладні витрати на розробку (H)	3522,18
5	Інші витрати (I_B)	234,81
6	Витрати на відлагодження і дослідну експлуатацію програмного продукту (K_2)	720
7	Накладні витрати експлуатацію (H_B)	6660,86
8	Річні експлуатаційні витрати (B_{EA})	24431,4
Разом		40004,73

Розрахунок ціни проекту.

Договірна ціна (C_D) для проектних рішень розраховується за формулою (4.8):

$$C_D = B_{KC} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right), \quad (4.8)$$

де B_{KC} – кошторисна вартість, грн.;

p - середній рівень рентабельності, % (приймаємо 24% за погодженням з керівником).

$$C_D = 40004,73 \cdot (1 + 0,24) = 49605,84 \text{ грн.}$$

4.3 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Економічна ефективність (E_ϕ) полягає у відношенні результату виробництва до затрачених ресурсів:

$$E_\phi = \frac{П}{B_{KC}}, \quad (4.9)$$

де $П = C_D - B_{KC}$ – прибуток, грн.;

B_{KC} – кошторисна вартість, грн..

$$E_\phi = 9601,14 \text{ грн.} / 40004,73 \text{ грн.} = 0,24.$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень (T_p):

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_P = \frac{1}{E_P} \cdot \quad (4.10)$$

Тобто: $T_P = 1/0,24 = 4р.$

Прийнятним вважається термін окупності близький до 7 років.

Розраховані економічні показники проекту занесемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Економічні показники розробки

№ п/п	Показник	Значення
1.	Собівартість, грн.	40004,73
2.	Плановий прибуток, грн.	9601,14
3.	Ціна, грн.	49605,84
4.	Економічна ефективність	0,24
5.	Термін окупності, рік	4

Враховуючи основні економічні показники з таблиці 4.7, можна зробити висновок, що при економічній ефективності 0,24 та терміні окупності – 4 роки проводити роботи по впровадженню даного програмного додатку є доцільним та економічно вигідним.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу сучасних алгоритмів сегментації та контурного аналізу, систем розпізнавання зображень та проведених експериментів, можна зробити наступні висновки:

1) Проведено аналіз та класифікацію цифрових зображень в системах автоматизованого управління транспортними засобами, що дозволило виділити основні характеристики даного типу зображень.

2) Проаналізовано методи виділення та класифікації дорожніх знаків на зображеннях та відеопотоках, що дозволило підібрати групу алгоритмів для реалізації програмної системи.

3) Проведено аналітичний огляд існуючих програмних систем для виділення та класифікації дорожніх знаків, що дозволило виділити основні функціональні блоки та узгодити інтерфейси між ними.

4) Досліджено алгоритми сегментації та розпізнавання об'єктів на прикладі зображень дорожніх знаків, що дозволило підібрати групу алгоритмів для проведення попередньої обробки зображень в системі виділення та класифікації дорожніх знаків.

5) Розроблено алгоритм виділення та класифікації зображень дорожніх знаків на основі аналізу їх характеристик у системі аналізу цифрових зображень, що дозволило спроектувати модуль обробки цифрових зображень для систем аналізу зображень дорожніх знаків.

6) Розроблено структурну схему програмного додатку для виділення та класифікації зображень дорожніх знаків, програмно реалізувати запропоновані алгоритми, що дало можливість провести порівняльний аналіз з програмами-аналогами та проілюструвати високу продуктивність запропонованих алгоритмів.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баран Є.Р., Пастернак В.М. Аналіз алгоритмів виділення та розпізнавання об'єктів на цифрових зображеннях. Збірник тез III Науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі», Тернопіль, 26 листопада 2020 р. с. 45.
2. Бартлетт Н. Программирование на С++ Путеводитель. The Coriolis Group, Inc., 1996, Издательство НИПФ "ДиаСофт Лтд.", 2016. 116с.
3. Вебер Дж. Технология С++ в подлиннике. QUE Corporation, 2016, "BNV-Санкт-Петербург", 2017. 256с.
4. Волш А. И. Основы программирования на С++ для World Wide Web. IDG Books Worldwide, Inc., 1996, Издательство "Диалектика", 2016. 458с.
5. Марков А. С. «Базы данных. Введение в теорию и методологию. Финансы и статистика». 2016. С.24-35.
6. Абрамов С. А. Задачи по программированию. М.: Наука, 2018. 256с.
7. Березин Б.И., Начальный курс Delphi. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2016. 331с.
8. Бондарев В.М. Основы программирования. Харьков: Фолио, Ростов н/Д: Феникс, 2017. 446с.
9. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных. М.: Мир, 2019. 345с.
10. Гладков В. П. Задачи по информатике на вступительном экзамене в вуз и их решения: Учебное пособие. Пермь: Перм. техн. ун-т, 2014. 516с.
11. Грогоно П. Программирование на языке Delphi. М.: Мир, 2012. 216с.
12. Дагене В.А. 100 задач по программированию. М.: Просвещение, 2013. 106с.
13. Джамса К. Библиотека программиста Java. Jamsa Press, 2016, ООО "Попурри", 2016. 656с.
14. Марков А. С. «Базы данных. Введение в теорию и методологию. Финансы и статистика». 2016. Р. 24-35.
15. Заварыкин В.М. Основы информатики и вычислительной техники. М.: Просвещение, 2019. 556с.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

16. Касаткин В. Н. Информация. Алгоритмы и примеры. ЭВМ. М.: Просвещение, 2011. 219с.
17. Кен А. Язык программирования Delphi. Addison-Wesley Longman, U.S.A., 1996, Издательство "Питер-Пресс", 2017. 378с.
18. Керниган Б. Язык программирования Delphi. Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 2012. 391с.
19. Ляхович В.Ф. Руководство к решению задач по основам информатики и вычислительной техники. М.: Высшая школа, 2014. 127с.
20. Мейнджер Дж. Delphi Основы программирования. McGraw-Hill, Inc., 1996, Издательская группа ВНУ, Киев, 2017. 346с.
21. Миков А. И. Информатика. Введение в компьютерные науки. Пермь: Изд-во ПГУ, 2018. 442с.
22. Могилев А. В. Информатика: Учеб. пособие для студ. пед. Вузов. М.: Изд. центр «Академия», 2019. 629с.
23. Нотон П. JAVA: Справ. руководство. М.: БИНОМ: Восточ. Кн. Компания, 2016: Восточ. Кн. Компания. 447с.
24. Нотон П. Полный справочник по Java. McGraw-Hill, 1997, Издательство "Диалектика", 2017. 556с.
25. Ренеган Э. Дж. 1001 адрес WEB для программистов : Новейший путеводитель программиста по ресурсам World Wide Web: Пер.. Минск: Попурри, 2017. 512с. ил.
26. Родли Дж. Создание Java-апплетов. The Coriolis Group, Inc., 1996, Издательство НИПФ "ДиаСофт Лтд.", 2016. 466с.
27. Секреты программирования для Internet на Java. Ventana Press, Ventana Communications Group, U.S.A., 2016, Издательство "Питер Пресс", 2017. 396с.
28. Семакина И. Г. Информатика. Задачник-практикум: В 2 т.. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2019. 476с.
29. Сокольский М.В. Все об Intranet и Internet. М.: Элиот, 2018. 254с.
30. Тассел Д. Стиль, разработка, эффективность, отладка и испытание программ. М.: Мир, 2011. 56с.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

31. Тюрин Ю.Н. Анализ данных на компьютере. М.: ИНФРА-М, Финансы и статистика, 2015. 384с.
32. Флэнэген Д. Java in a Nutshell. O'Reilly & Associates, Inc., 1997, Издательская группа BHV, Киев, 2018. 473с.
33. Чен М.С. Программирование на C++:1001 совет:Наиболее полное руководство по Java и Visual J++ :Пер.с англ. Минск:Попурри, 2017. 640с.ил.
34. Эферган М. C++: справочник. QUE Corporation, 2017, Издательство "Питер Ком", 1998. 256с.
35. G. Yang. «Human face detection in a complex background. Pattern Recognition », 27 (1): 2014. P.53-63.
36. Kotropoulos C. «Acoustics, Speech, and Signal Processing», 2017. ICASSP-97, 2017. IEEE International Conference on pp.2537-2540 v. 4
37. Leung TK. «Finding Faces in Cluttered Scenes Using Random Labeled Graph Matching» 2015.p P.83-95.
38. Yow KC. Feature-based human face detection. Image and vision computing 15 (9), 2017. P.713-735.
39. Sinha, P. Perceiving and Recognizing threedimensional forms. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2016. 278p.
40. Lanitis, A «Image Anal. Classifying variable objects using a flexible shape model »Image Processing and its Applications, 2015., P.70-74.
41. Viola P. «Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features», proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2011., vol. 1, 518p.
42. Jones MJ. «Robust real-time face detection», International Journal of Computer Vision, vol. 57, no. 2, 2014., P.137-154.
43. Buchatskiy AN. «Selection of the Optimal Color Space for Reducing False Positives Rate in the Viola-Jones Method», Актуальні проблеми інфотелекомунікацій в науці та освіті, II Міжнародна науково-технічна та науково-методична конференція. Санкт-Петербург, 2013.
44. Ethan R. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. Computer Vision (ICCV), IEEE International Conference on. IEEE, 2011. P. 2564–2571.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

45. Stefan L. BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints. Computer Vision (ICCV), 2011. P. 2548–2555.

46. Pablo F. Fast Explicit Diffusion for Accelerated Features in Nonlinear Scale Spaces. In British Machine Vision Conference (BMVC), 2013.

47. Martin A. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. Comm. Of the ACM24: 2001. P.381–395,.

48. Патин М.В. Сравнительный анализ методов поиска особых точек и дескрипторов при группировке изображений по схожему содержанию. Молодой ученый. 2016. №11. С. 214-221.

49. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB //М.: Техносфера. 2016. 616с.

50. Гураль І.В., Дубчак Л.О. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів, звітів про проходження практики, випускних кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Комп’ютерна інженерія»/Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 33 с.

51. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи з освітнього ступеня “Бакалавр” спеціальності 123 «Комп’ютерна інженерія» галузі знань 12 Інформаційні технології / О.М. Березький, Л.О.Дубчак, Г.М. Мельник, Ю.М. Батько / Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ЗУНУ, 2020. 60с.

52. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Техніко-економічне обґрунтування розробки комп’ютерних систем»/ Н.Я. Савка, І.Р. Паздрій / Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 40 с.

					КР.КІ.140893/19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68