

## Розробка методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона

Г. В. Худов, О. М. Маковейчук, Д. Л. Місюк, Г. В. Пєвцов, І. А. Хижняк,  
Ю. С. Соломоненко, І. Ю. Юзова, В. М. Чернега, В. В. Власюк, В. Г. Худов

*Удосконалено метод обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона. Основні етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу наступні:*

- введення вихідних даних;*
- розкадрування потокового відео;*
- попередня обробка зображення реєстраційного номеру транспортного засобу;*
- знаходження області реєстраційного знаку транспортного засобу;*
- уточнення розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного знаку транспортного засобу;*
- уточнення розпізнавання символів з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео;*
- отримання результату обробки.*

*Проведені експериментальні дослідження щодо обробки зображень реєстраційного номеру транспортного засобу. При проведенні експериментальних досліджень розглядався реєстраційний номер військового автомобіля (Україна). У якості вихідного розглядалося кольорове зображення транспортного засобу. Наведені результати експериментальних досліджень. Проведено порівняння якості розпізнавання символів реєстраційного номеру. Встановлено, що удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео якісно працює в кінці послідовності. Удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео працює з числовими векторами імовірностей.*

*Проведено оцінювання помилок першого та другого роду при обробці зображення реєстраційного номеру. Загальна точність знаходження області реєстраційного номеру відомим методом становить 61 %, удосконаленим методом становить 76 %. Встановлено, що мінімізація помилок першого роду є важливішою, ніж зменшення помилок другого роду. При хибному знаходженні реєстраційного номеру ці результати, безумовно, будуть відкинуті на етапі розпізнавання символів.*

*Ключові слова: обробка зображення, реєстраційний номер, транспортний засіб, розпізнавання символів, камера смартфона.*

### 1. Вступ

Якісна обробка зображень з метою розпізнавання номерного знаку транспортного засобу є актуальною в системах безпеки та відеоспостереження. Сис-

теми автоматичного розпізнавання номерних знаків використовуються для автоматизації управління рухом транспорту. Такі системи мають досить широкий спектр застосування:

- на платних автомобільних стоянках. Номерний знак зчитується двічі. Автоматично визначається час стоянки та величина оплати. Додатково така система може визначати транспортні засоби, для яких оплата не проводиться;
- контроль доступу – автоматичний пропуск у зону, що охороняється;
- на платних автомобільних шляхах. Розпізнавання номерного знаку проводиться для визначення плати за проїзд або для додаткової перевірки дозволу на проїзд;
- прикордонний контроль – номерний знак реєструється при в'їзді до країни та виїзді з країни;
- розшук викрадених транспортних засобів. Система розташована на узбіччі дороги та здійснює контроль номерних знаків всіх транспортних засобів. У реальному масштабі часу проводиться порівняння номерних знаків зі списком номерних знаків транспортних засобів, що викрадені. При визначенні такого транспортного засобу система видає повідомлення транспортній поліції, котра зупиняє такий транспортний засіб;
- контроль перевищення швидкості та проїзду на забороняюче світло світлофору;
- управління рухом транспортних засобів. Проводиться класифікація транспортних засобів та направлення їх на різні полоси руху з метою можливої перевірки тощо.

В існуючих системах автоматичного розпізнавання номерних знаків використовуються стаціонарні відеокамери. Дистанція розпізнавання номеру, як правило відома, та складає десятки або сотні метрів. Відеокамери правильно розміщені та сконфігуровані, що значно полегшує розпізнавання номерів транспортних засобів. Є можливість використовувати різного роду допоміжні функції для отримання максимально якісного зображення при різномірному освітленні. Зазначене вище дозволяє використовувати достатній рівень освітлення, уникати нахилу номерної пластини, забезпечити автоматичне фокусування, уникати відбиття світла та наявність тіні. Також максимально зменшується можливість деформації номерного знаку, розмиття та нечіткість зображення.

Існують ситуації, коли необхідно провести оперативне розпізнавання номерного знаку транспортного засобу. Такі ситуації виникають при патрулюванні у складі військових, поліцейських, миротворчих місій, виконанні завдань у складі мобільних нарядів щодо охорони державного кордону, під час ведення антитерористичних операцій тощо (наприклад, [1]). Також оперативне розпізнавання номерного знаку транспортного засобу є актуальним при введенні надзвичайного стану, комендантської години при стихійних лихах, масових заворушеннях тощо (наприклад, [2]). В таких ситуаціях відсутня можливість використання стаціонарних систем відеоспостереження і, відповідно, існуючих систем автоматичного розпізнавання номерних знаків. Тому, як правило, використовуються мобільні засоби відеоспостереження, в тому числі і звичайні смартфони.

Основними особливостями знімання потокового відео камерою смартфона є:

- недостатня деталізація зображення;
- обмеженість використання різних типів об'єктів камери;
- наявність коливань камери смартфона;
- обмеженість щодо розмірів матриці камери смартфона;
- обмеженість режимів фокусування та масштабування камери;
- відсутність режиму стеження за об'єктом, особливо, коли об'єкт наближується (відсутність слідкуючого автоматичного фокусу);
- відсутність реалізації ефекту "боке";
- обмеженість використання додаткових опцій (настроювання різкості, сепія, визначення балансу білого кольору та його фіксація, кольорові фільтри, розмиття деяких деталей тощо).

Використання існуючих методів обробки зображень реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона не є ефективним. Тому дослідження, присвячені розробці методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона, є актуальними.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

В [3] зазначено, що завдання розпізнавання автомобільного номеру включає етапи виявлення номеру, нормалізація зображення номерного знаку, сегментування символів номерного знаку, розпізнавання символів. Виявлення номеру транспортного засобу передбачає локалізацію на зображенні області з реєстраційним номером. Після цього знайдена область вирізається з вихідного зображення та розглядається окремо. Нормалізація зображення номерного знаку полягає у проведенні геометричних перетворень, придушенні шумів, зміні яскравості та контрасту. Сегментування символів номерного знаку передбачає розділення зображення на місця для знаків (виділення областей окремих символів). Після цього проводиться процедура оптичного розпізнавання символів. В результаті такої процедури формується рядок символів. Процедура синтаксичного аналізу виконується для урахування елементів рядка з символами номеру. Ці елементи можуть розрізнятися відповідно стандартам країн реєстрації транспортних засобів. Перевагою [3] є детальний опис етапів розпізнавання автомобільного номеру. Недоліком [3] є лише перелік етапів розпізнавання, не наведено експериментальних досліджень.

В [4] відмічається, що для локалізації області номеру на зображенні використовують методи, які базуються на бінарізації, виділенні контурів, морфологічній обробці зображень. Метод локалізації області автомобільного номеру [4] передбачає наступну послідовність дій.

1. Перетворення вихідного кольорового зображення в полутонове.
2. Проведення обробки зображення операторами Собеля (або Превітта). Формування зображення, в якому яскравість пікселів дорівнює модулю градієнту у відповідній точці зображення.
3. Проведення бінарізації зображення.
4. Проведення операцій морфологічного закриття з прямокутником у якості структуруючого елемента.
5. Визначення контуру на зображенні.

6. Визначення областей, що обмежені контурами.

7. Визначення області, параметри якої відповідають автомобільному номеру.

Перевагою [4] є вирішення завдання локалізації автомобільного номеру на зображенні. Основними недоліками методу [4] є чутливість операторів Собеля, Превітта, морфологічних операторів до різного роду шумів на зображенні (Гаусса, спекл, "сіль та перець").

Для локалізації області реєстраційного номерного знаку може бути використаний метод Віоли-Джонса [5]. Сутність методу полягає у знаходженні ознак на зображенні з використанням ознак Хаара. Ознака Хаара складається зі із суміжних прямокутних областей, які знаходяться на зображенні. Потім проводиться сумування яскравості пікселів в областях та між сумами розраховується різниця. На етапі виявлення заданої області використовується вікно визначеного розміру, яке переміщується по зображенню. Ознака Хаара розраховується для кожної області зображення. Наявність або відсутність предмету у вікні визначається різницею між значенням ознаки та порогом. Перевагою [5] є використання апріорної інформації стосовно ознак номеру транспортного засобу на зображенні. Основними недоліками [5] є:

- на зображенні може бути багато прямокутних об'єктів, що схожі на автомобільний номер;
- висока трудомісткість обчислень;
- не ефективний при відсутності виражених границь на зображенні (наприклад, запилений номер).

Для визначення місць знаків на зображенні використовується метод опорних векторів (support vector machine (SVM)) [6]. Основні переваги [6]:

- навчання методу може бути зведено до задачі квадратичного програмування. Така задача має єдине рішення, яке достатньо ефективно може бути визначено на великих вибірках;
- положення оптимальної гіперплощини залежить лише від невеликої долі об'єктів, що використовуються для навчання (опорних векторів);
- за допомогою введення функції ядра метод може бути узагальнений на випадок нелінійних поверхонь, що не розділяються.

Основним недоліком [6] є те, що стандартний метод опорних векторів використовується лише для бінарної класифікації.

Для випадку декілька класів найбільш використовуються наступні підходи [7, 8]. В [7] запропоновано створити набір класифікаторів та обрати клас, на якому об'єкт знаходиться далі всього від поверхні, що розділяє. В [8] запропоновано створити набір бінарних класифікаторів, а потім обрати клас, що запропонований більшістю з цих класифікаторів. Перевагами [7, 8] є застосування двох етапів для класифікації номерного знаку на зображенні. Це підвищує якість класифікації. Недоліками [7, 8] є складність знаходження границі між класами та складність проведення обчислень при зростанні кількості класів.

В [9] запропоновано метод гістограмного аналізу регіонів. Метод заснований на тому, що символи на номері, фон та рамка є контрастними. Перевагою [9] є простота роботи гістограмного методу. Недоліком [9] є нестійкість методу до шумів та гязі. Також, у випадку великої перспективи (великого кута нахилу

камери при зніманні) або маленькому зображенні автомобіля у порівнянні з оточуючими предметами, виділення максимуму проекції ускладнено.

Як правило, виділена область з номером має відносно невеликий розмір, включає границі номеру, горизонтальні полоси бамперу та радіаторної решітки. Тому для визначення кута повороту рамки номеру можна застосувати метод на основі перетворення Хафа для ліній [10]. Метод [10] передбачає:

- визначення ліній, довжина яких більше половини ширини області номеру;
- формування прямої лінії з середніх значень всіх точок ліній, що отримані;
- обчислення куту між отриманою прямою лінією та лінією горизонту.

В [11] розглянуто особливості прикладного застосування перетворення Хафа до визначення елементів міської інфраструктури. Додатково на першому етапі запропоновано застосування методу Канні. Перевагами [10, 11] є використання простих геометричних примітивів, зниження обчислювальних витрат. Недоліками [10, 11] є доцільність використання перетворення Хафа при визначенні простих геометричних примітивів та наявність великої кількості "сміттєвих" об'єктів.

В [12] запропоновано метод виявлення та розпізнавання номерних знаків для потокового відео. Метод заснований на нейронній мережі зі зворотнім зв'язком. Априорні значення прямого та двонаправленого зіставлення між послідовними кадрами потокового відео належним чином поєднуються зі структурами шарів, які спеціально розроблені для виявлення номерних знаків. В [12] наведений набір відео кадрів для глибокого навчання запропонованої мережі. Перевагою [12] є те, що під час навчання мережі виконується аугментація даних на основі повороту зображення. Недоліком методу [12] є необхідність виконання багаточислового налаштування внутрішніх елементів мережі та зв'язку між ними.

В [13] запропоновано метод, який дозволяє розпізнавати номерні знаки китайських транспортних засобів. Розпізнавання виконується за допомогою архітектури глибокого навчання на основі нейронної мережі розпізнавання номерних знаків (LPR-Net). LPR-Net являє собою гібридну глибоку архітектуру. Перевагами [13] є те, що архітектура складається з мережі залишкових помилок для отримання основних ознак, багатомасштабної мережі для отримання багатомасштабних ознак, регресійної мережі для визначення місцезнаходження номерних знаків і символів та мережі класифікації для розпізнавання. Недоліком методу [13] є невелика швидкість навчання у процедурі навчання LPR-Net.

В [14] запропоновано єдина глибока нейронна мережа, яка локалізує номерні знаки та розпізнає літери одночасно за один прохід по виборці. Тобто усю мережу навчають з початку та до кінця. Використання даного методу дозволяє уникнути проміжного накопичення помилок, прискорити швидкість обробки зображення. Недоліком методу [14] є проблеми під час підготовки навчальної вибірки, які пов'язані з труднощами знаходження достатньої кількості навчальних прикладів.

В [15] запропоновано метод, заснований на дробовому операторі Рісса. Даний метод використовується для підвищення деталізації крайової інформації на зображеннях номерних знаків. Запропонований підхід виконує операцію згортки дробової похідної Рісса над кожним вхідним зображенням, посилюючи

в ньому силу краю. Але для вирішення завдання виявлення та розпізнавання номерних знаків необхідно застосовувати додатково методи виявлення та розпізнавання тексту.

В [16] запропонована нейронна мережа для виявлення дрібних та нахилених номерних знаків. Метод заснований на застосуванні аналізу відношення транспортного засобу до номерного знаку. Запропоновано оцінити локальну область навколо номерного знаку, використовуючи відношення між транспортним засобом та номерним знаком. Це дозволяє значно скоротити область пошуку та виявляти дуже маленькі номерні знаки. Чотирикутна рамка номерного знаку визначається шляхом регресії чотирьох кутів номерного знаку. Недоліком методу [16] є те, що даний метод ефективно працює лише для невеликих та похилих номерних знаків.

В [17] запропонований метод, який є сукупністю таких алгоритмів, як ковзне вікно, гістограма направленої градієнту та метод опорних векторів. Зображення обробляється методом ковзного вікна, щоб знайти положення знаку. Вилучення ознак при кожному русі ковзного вікна проводиться за допомогою методу опорних векторів та методу гістограми направлених градієнтів. Перевагою методу [17] є висока точність виявлення номерних знаків на зображенні навіть поганої якості. Недоліком [17] є великі часові затрати, та як наслідок, неможливість виявлення номерних знаків у режимі реального часу.

В [18] запропоновано для локалізації номерних знаків використовувати каскадний класифікатор типу Хаара, який широко використовується для вирішення завдання розпізнавання обличчя. Перевагою [18] є використання вже розробленого методу для вирішення іншого завдання (розпізнавання обличчя людини). Недоліком методу [18] є залежність результату роботи від вибору позитивних та негативних зразків.

В [19] запропоновано метод розпізнавання номерних знаків транспортних засобів, що базується на характерних екстремальних областях (ER) та гібридних дискримінаційних обмежених машинах Больцмана (HDRBM). Грубе виявлення номерного знаку виконується шляхом виявлення вертикального краю, морфологічних операцій та різних перевірок. Потім ER для конкретних символів витягуються як області символів кандидатів номерних знаків. Після відповідного вибору ER сегментація символів та виявлення номерних знаків досягаються одночасно. Нарешті, для розпізнавання символів застосовується автономний навчений класифікатор шаблонів HDRBM. Перевагою методу [19] є стійкість до змін освітленості та погодних умов протягом доби. Недоліком [19] є складність реалізації та наявність обмеженого навченого класифікатору шаблонів.

В [20] запропоновано двоетапний підхід до локалізації номерного знаку у складних умовах освітлення. На першому етапі алгоритм згорткової нейронної мережі на основі Faster R-CNN використовується для виявлення всіх транспортних засобів на зображенні. Це необхідно для збору масштабованої інформації для визначення розташування номерних знаків. На другому етапі використовуються морфологічні операції зменшення областей, які не відносяться до номерних знаків. Перевагою методу [20] є можливість розпізнавання кількох номер-

них знаків одночасно. Недоліком [20] є те, що метод працює лише з зображеннями у колірному просторі HSI.

В [21] запропоновано метод виявлення елементів об'єктів міської інфраструктури на основі інтегрального векторного перетворення Радона та перетворення Хафа. Перевагою методу [21] є можливість його використання для визначення геометричних примітивів на складноструктурованих зображеннях. Недоліком [21] є його обчислювальна складність.

Враховуючи можливість представлення вихідного зображення (кадру відео потоку) сукупністю оптичних сигналів, розглянемо аналогічні методи обробки сигналів в радіотехніці (наприклад, [22]). В [22] запропоновано метод розкладання суперпозицій невідомих імпульсних сигналів адаптивним спектральним аналізом другого порядку. Метод [22] є ефективним при обробці імпульсних сигналів в радіотехнічних системах. Метод [22] не враховує особливості формування зображень реєстраційних номерів транспортних засобів.

В [23, 24] запропоновано методи метаевристичної оптимізації для тематичного сегментування зображень бортових оптико-електронних систем спостереження. В [23] ретельно проаналізовано метод штучної бджолоїної колонії. В [24] запропоновано використання розробленого в [23] методу штучної бджолоїної колонії для виділення об'єктів інтересу на оптико-електронному зображенні. Методи [23, 24] добре зарекомендували себе при обробці складноструктурованих зображень. Недоліком методів [23, 24] є їх обчислювальна складність.

В [25] наведено загальна алгоритмічна основа різновидів методів обробки зображень на основі мурашиних алгоритмів. Наведений перелік областей застосування для ефективного розв'язання обчислювально складних задач за допомогою запропонованого підходу. В [26] розроблений метод на основі мурашиного алгоритму [25] для визначення контурів об'єктів на тонових аерокосмічних зображеннях. Недоліком методів [25, 26] є труднощі реалізації при обробці зображень в реальному масштабі часу.

В [27] на основі удосконалених алгоритмів мурашиної колонії запропоновано метод визначення маршрутів польоту груп безпілотних літальних апаратів. Метод [27] є ефективним для вирішення NP-складних оптимізаційних задач. До таких NP-складних оптимізаційних задач відноситься і обробка зображень. Але метод [27] не можна застосовувати для задачі виявлення та розпізнавання реєстраційних номерів транспортних засобів у зв'язку з неврахуванням особливостей формування таких зображень.

Аналіз відомих методів обробки зображень показав, що обробка зображень реєстраційних номерів при зніманні камерою смартфона не розглядається. Тому розробка методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона є актуальним завданням.

### **3. Мета та завдання дослідження**

Метою дослідження є удосконалення методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона. Це дасть можливість знизити помилки першого та другого роду при визначенні реєстраційного номеру транспортного засобу.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити основні етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона;
- провести обробку зображень потокового відео для визначення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона;
- провести порівняльну оцінку якості обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу відомими та розробленим методом при зніманні камерою смартфона.

#### **4. Матеріали та методи дослідження**

При проведенні дослідження використовувалися наступні методи дослідження.

При визначенні основних етапів методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона:

- методи теорії обробки зображень;
- методи теорії ймовірності та математичної статистики;
- методи морфологічного аналізу;
- методи системного аналізу;
- методи диференційного числення;
- методи цифрової обробки сигналів;
- математичний апарат теорії матриць.

При обробці зображень потокового відео для визначення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона:

- методи теорії обробки зображень;
- методи морфологічного аналізу;
- методи математичного моделювання;
- методи диференційного числення;
- методи цифрової обробки сигналів.

При оцінюванні помилок першого та другого роду при обробці зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона:

- методи теорії ймовірності та математичної статистики;
- математичний апарат теорії матриць;
- методи математичного моделювання.

При валідації запропонованих рішень використовувалися аналітичні та емпіричні методи порівняльного дослідження.

При проведенні дослідження прийняті наступні обмеження та припущення:

- розглядається зображення номерного знаку військового автомобіля (Україна);
- у якості смартфона використовується смартфон OPPO Reno 5 Lite;
- розрізнення відео знімання 1080P/30k/c;
- розкадрування потокового відео проведено;
- кадр потокового відео представляється вихідним зображенням в кольоровому просторі Red-Green-Blue (RGB);
- вплив шумів на зображення не враховується;
- відсутній поворот рамки номерного знаку транспортного засобу;



- транспортний засіб наближається до особи, що проводить знімання;
- умови освітлення – природній фон, природне освітлення;
- ракурс знімання – незначні проєктивні спотворення, здалеку, без повороту.

## 5. Результати дослідження щодо розробки методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу

### 5.1. Основні етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу

Основні етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу наведені на рис. 1.

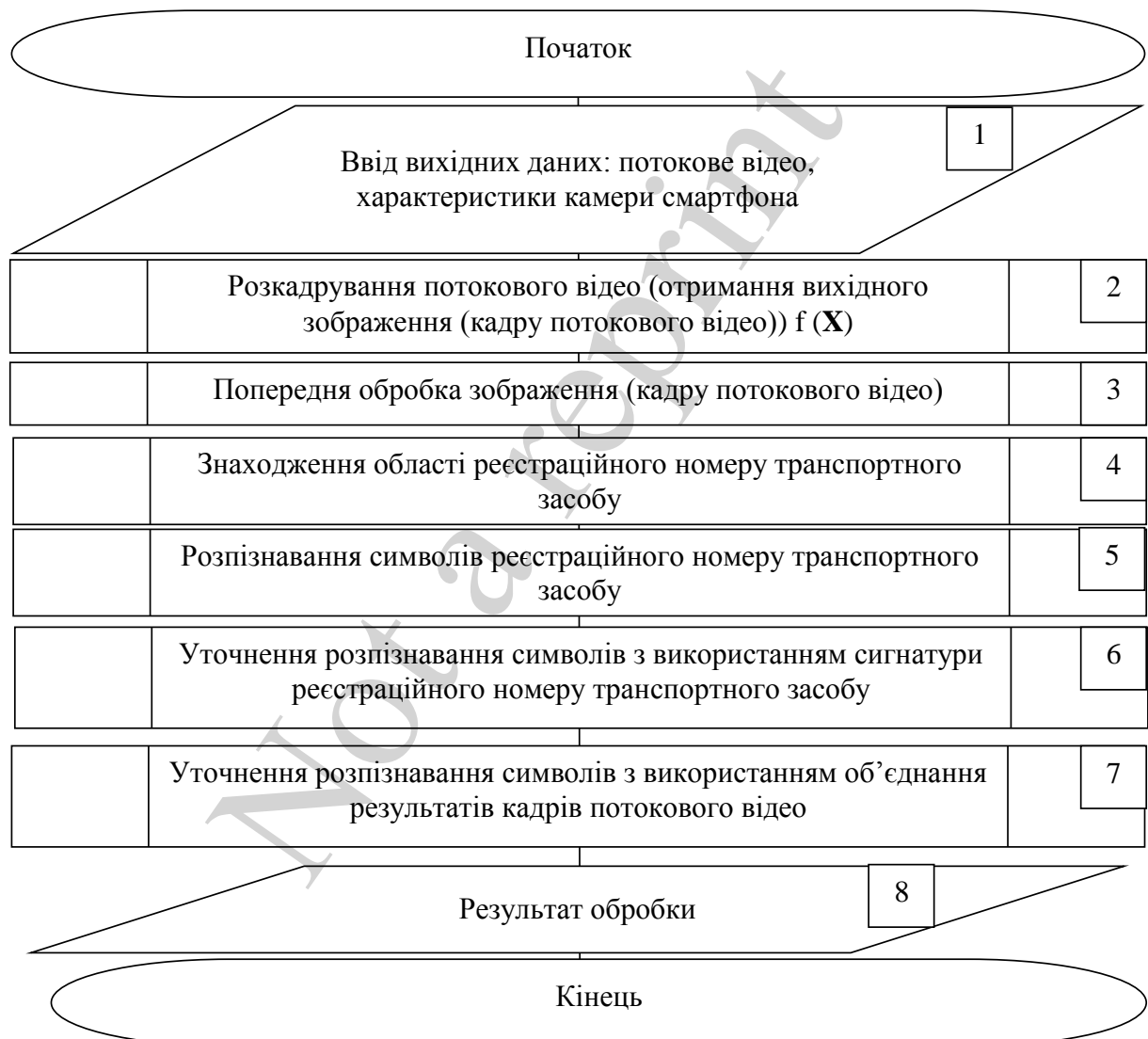


Рис. 1. Основні етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу

Метод обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу передбачає основні етапи.

1. Введення вихідних даних – потокове відео, характеристики камери смартфона.

2. Розкадрування потокового відео (отримання вихідного зображення (кадру потокового відео)  $f(\mathbf{X})$ ).  $\mathbf{X}(x, y)$  – координати пікселів на кадрі потокового відео (вихідному зображенні).

3. Попередня обробка зображення реєстраційного номеру транспортного засобу (кадру потокового відео).

4. Знаходження області реєстраційного знаку транспортного засобу.

5. Розпізнавання символів реєстраційного номеру транспортного засобу.

6. Уточнення розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного знаку транспортного засобу.

7. Уточнення розпізнавання символів з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео.

8. Отримання результату обробки.

Розглянемо детально основні етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу.

### 5.1.1. Попередня обробка зображення реєстраційного номеру транспортного засобу

Класична попередня обробка зображення реєстраційного номеру транспортного засобу передбачає перехід від вихідного кольорового зображення до зображення в градаціях сірого кольору [28, 29]. Це може привести до втрати корисної інформації в залежності від кольорового простору представлення зображення. Врахуємо, що текст (символи) на реєстраційному номері транспортного засобу є контрастним по відношенню до фону на номерній пластині. Тому, на відміну від відомих, на етапі попередньої обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу проведемо попіксельне перемноження яскравостей каналів кольорового простору представлення вихідного зображення. Так, наприклад, для зображення реєстраційного номеру транспортного засобу, що отримано у кольоровому просторі RGB, ця операція може бути представлена виразом (1):

$$g(\mathbf{X}) = \prod_{c \in RGB} c(\mathbf{X}), \quad (1)$$

де  $c(\mathbf{X})$  – яскравість пікселя  $c$  з координатами  $\mathbf{X}$  в одному з каналів вихідного зображення  $f(\mathbf{X})$  у кольоровому просторі RGB;

$g(\mathbf{X})$  – вихідне зображення  $f(\mathbf{X})$  у градаціях сірого.

Також, на відміну від відомих, будемо застосовувати морфологічну операцію  $\text{imtophat } T_w(g(\mathbf{X}))$  до зображення  $g(\mathbf{X})$ . Операція  $\text{imtophat}$  обчислює морфологічне відкриття зображення (за допомогою морфологічної операції  $\text{imopen}$ ), а потім віднімає результат від вихідного зображення (вираз (2) [30]):

$$T_w(g(\mathbf{X})) = g(\mathbf{X}) - g(\mathbf{X}) \circ b(\mathbf{X}), \quad (2)$$

де  $b(\mathbf{X})$  – структурний елемент зображення  $g(\mathbf{X})$ ;

◦ – операція морфологічного відкриття (imopen) [30].

Таким чином, на відміну від відомих, етап попередньої обробки реєстраційного номеру транспортного засобу додатково передбачає:

- попіксельне перемноження яскравостей каналів кольорового простору представлення вихідного зображення;
- застосування морфологічної операції imtophat  $T_w(g(X))$  до зображення  $g(X)$ .

### 5. 1. 2. Знаходження області реєстраційного номеру транспортного засобу

Знаходження області реєстраційного знаку транспортного засобу на вихідному зображенні  $g(X)$  сформулюємо у вигляді наступної послідовності операцій:

- визначення функції належності до множини областей реєстраційного номеру транспортного засобу;
- пошук областей, які задовольняють визначеній функції належності.

Для множини областей реєстраційного знаку функція належності  $F(\xi, \bar{\xi}, V, th)$  може бути представлена виразом (3):

$$F(\xi, \bar{\xi}, V, th) = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_i [V_i * (\xi_i \Delta \xi \bar{\xi}_i)] < th, \\ 0, & \text{else,} \end{cases} \quad (3)$$

де  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $\xi$  – вектор значень інформативних ознак еталонної області;  $\bar{\xi}$  – вектор значень інформативних ознак області, що аналізується;  $V$  – вектор вагових коефіцієнтів елементів інформативних ознак;  $th$  – порогове значення;  $n$  – кількість інформативних ознак;  $\Delta \xi$  – відношення відхилення одного значення інформативної ознаки від іншого.

Функція  $F(\xi, \bar{\xi}, V, th)$  (вираз (3)) приймає значення 1, якщо область, що розглядається, належить до області реєстраційного номеру транспортного засобу. Значення 0 в протилежному випадку.

Визначення відношення  $\Delta \xi$  є задачею, яку важко формалізувати. Для різних інформативних ознак  $\Delta \xi$  може відрізнятися. Підбір порогового значення  $th$  та значень вектору  $V$  можуть бути вирішені за допомогою проведення експериментальних досліджень.

Під інформативними ознаками області реєстраційного номеру транспортного засобу будемо розуміти набір числових (формалізованих) характеристик. До інформативних ознак стосовно області, що аналізується, можна віднести: площу, периметр, форми, габарити, компактність області, наявність "високої" контрастності та для транспортних засобів у русі – зміну координат області у часі.

При необхідності накладання деяких обмежень на елементи множини інформативних ознак, необхідно задати наступні величини:

- максимально та мінімально допустимі значення площі, периметру, габаритів, компактності області;
- допустимі спотворення форми області;
- порогове значення контрастності;

– максимально та мінімально допустимі значення швидкості зміни координат області у часі.

Отже, значення інформативних ознак повинні входити в інтервал допустимих значень або не перевищувати порогового значення.

Обмеження на елементи множини інформативних ознак визначають область допустимих значень інформативних ознак. Порогові значення інтервалів для площі, периметру, габаритів та компактності області залежать від віддаленості камери від транспортного засобу та від розмірів зображення. Обмеження на спотворення форми області залежить від кутів між камерою та площиною реєстраційного номеру. Порогове значення контрастності залежить від освітленості області реєстраційного номеру. Обмеження швидкості зміни координат області у часі залежить від можливої швидкості переміщення транспортного засобу.

При знаходженні області реєстраційного номеру транспортного засобу будемо вважати, що камера смартфона знімає таким чином, щоб перспективні спотворення зображення були мінімальними. Якщо на зображенні присутні перспективні спотворення для їх компенсації доцільно попередньо знайти матрицю гомографії [28]. У подальшому будемо вважати, що ці перспективні спотворення є малі або скомпенсовані.

В такому випадку для знаходження області реєстраційного номеру транспортного засобу будемо використовувати пошук по зразку по максимуму крос-кореляційної функції (вираз (4) [31]):

$$R(i, j) = \frac{\sum_x \sum_y f_{et}(x, y) f_t(x - i + (M + 1) / 2, y - j + (N + 1) / 2)}{\left[ \sum_x \sum_y f_{et}(x, y) \right]^{1/2} \left[ \sum_x \sum_y \left| f_t(x - i + (M + 1) / 2, y - j + (N + 1) / 2) \right|^2 \right]^{1/2}}, \quad (4)$$

де  $f_{et}(x, y)$  – еталонне зображення;  $f_t(x, y)$  – поточне зображення;  $(i, j)$  – координати пікселя зображення;  $i=1, \dots, N$  – кількість стовпців зображення;  $j=1, \dots, M$  – кількість строк зображення;  $(N \times M)$  – розмір зображення.

Зразок пошуку будується по шаблону реєстраційного номеру транспортного засобу. При цьому достатньо задати прямокутні області для цифр і букв.

Особливістю знаходження області реєстраційного номеру транспортного засобу є факт руху транспортного засобу. Отже, розміри реєстраційного номеру також будуть змінюватися. Тому, на відміну від відомих, для ефективної роботи корелятора (вираз (4)) необхідно підібрати відповідний масштаб зразку пошуку. Для цього будемо знаходити максимум крос-кореляційної функції (вираз (4)) для різних значень масштабу  $s$ , відповідно масштабувати зразок  $t=t(s)$  і вибирати оптимальний масштаб  $s_{opt}$ , який дає максимум значення крос-кореляційної функції (вираз (5)):

$$s_{opt} = \arg \max \left( \max R(i, j, t(s)), g(\mathbf{X}) \right). \quad (5)$$

Отже, етап знаходження області реєстраційного номеру транспортного засобу по зразку має наступну перевагу. Він дозволяє ідентифікувати положення кожного символу реєстраційного номеру, навіть за умови присутності реєстраційного номеру на зображенні частково. У подальшому це буде суттєво використовуватися при розробці методів оптичного розпізнавання символів реєстраційного номеру.

### **5. 1. 3. Розпізнавання символів реєстраційного номеру транспортного засобу**

Розпізнавання символів реєстраційного номеру транспортного засобу будемо проводити за допомогою пошуку по зразку по максимуму крос-кореляційної функції – вираз (4) [31]. При цьому повинен бути визначені зображення символів, які використовуються у якості зразків.

Зображення символів масштабуються у відповідності до значення оптимального масштабу, що було визначено на попередньому етапі для пошуку області реєстраційного знаку – вираз (5).

Після цього проведемо бінарізацію по Отсу [28]. Потім розрахуємо крос-кореляційну функцію між кожним символом бінаризованого по Отсу зображення знайденої області реєстраційного номеру та кожним символом зразка. Значення максимумів будемо зберігати у вигляді векторів, максимальне значення при цьому відповідає розпізаному символу.

Наведені вище етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу можуть некоректно працювати у випадку спотворюючих факторів. Такими факторами є, наприклад, наявність бруду, ефекти освітлення, значні перспективні спотворення тощо.

Для покращення якості розпізнавання символів реєстраційного номеру будемо враховувати сигнатуру реєстраційного номеру. Під сигнатурою реєстраційного номеру будемо розуміти інформацію, який саме символ (буква чи цифра) знаходиться на кожному знакомісці. Це дозволяє звузити алфавіт розпізнавання і підняти якість розпізнавання.

В практичних застосуваннях при розпізнаванні реєстраційних номерів транспортного засобу робота проводиться не з одиночним зображенням, а з їх послідовністю (чи відео). На таких зображеннях транспортний засіб наближається до камери (чи віддаляється від неї). У такому випадку можна підняти якість розпізнавання за рахунок врахування результатів обробки інших зображень цього транспортного засобу.

Таким чином, розроблено метод обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу. На відміну від відомих, метод додатково передбачає:

- попіксельне перемноження яскравостей каналів кольорового простору представлення вихідного зображення;
- застосування морфологічної операції  $\text{imtophat } T_w(g(X))$  до зображення  $g(X)$ ;
- пошук по зразку по максимуму крос-кореляційної функції;
- врахування руху транспортного засобу (підбір відповідного масштабу зразку пошуку);
- врахування сигнатури реєстраційного знаку;

– врахування результатів обробки інших зображень цього транспортного засобу.

## 5. 2. Обробка зображень потокового відео для визначення реєстраційного номеру транспортного засобу

При проведенні експериментальних досліджень прийняті наступні обмеження та припущення:

– розглядається зображення номерного знаку військового автомобіля (Україна);

– у якості смартфона використовується смартфон OPPO Reno 5 Lite;

– розрізнення відео знімання 1080P/30k/c;

– розкадрування потокового відео проведено;

– кадр потокового відео представляється вихідним зображенням в кольоровому просторі Red-Green-Blue (RGB);

– вплив шумів на зображення не враховується;

– відсутній поворот рамки номеру транспортного засобу;

– транспортний засіб наближається до особи, що проводить знімання;

– умови освітлення – природній фон, природне освітлення;

– ракурс знімання – незначні проєктивні спотворення, здалеку, без повороту.

При проведенні експериментальних досліджень будемо розглядати реєстраційний номер військового автомобіля (Україна) (рис. 2). Розміри реєстраційного номерного знаку на рис. 2 наведені в сантиметрах.

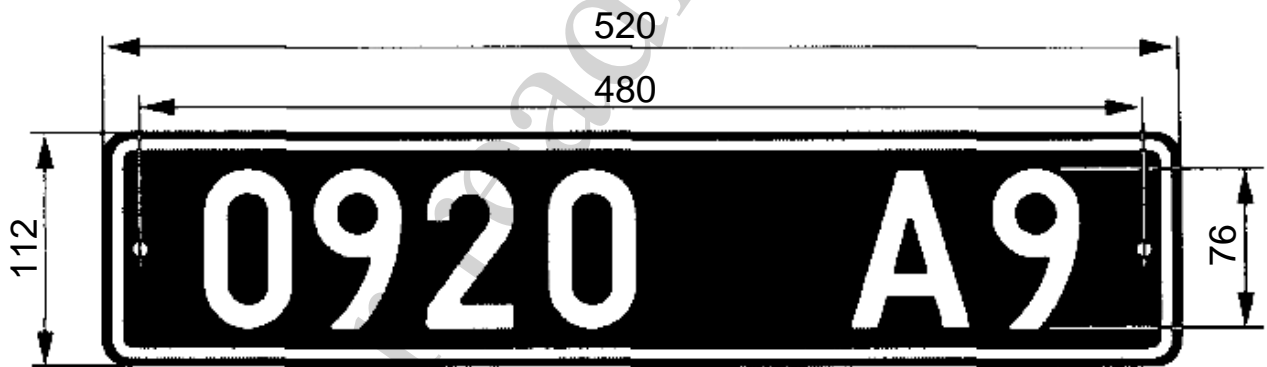


Рис. 2. Реєстраційний номерний знак військового автомобіля (Україна) (відповідно до ДСТУ 3650:2019 "Дорожній транспорт. Знаки номерні транспортних засобів. Загальні технічні умови")

У якості вихідного будемо розглядати кольорове зображення (рис. 3).

Це зображення автомобіля з реєстраційним військовим номером (Україна). Це кольорове зображення (кадр з потокового відео) в кольоровому просторі RGB. Розмір зображення (600×800) пікселів.



Рис. 3. Вихідне кольорове зображення (кадр з потокового відео)

### 5.2.1. Попередня обробка зображення реєстраційного номеру транспортного засобу

Попередня обробка реєстраційного номеру транспортного засобу додатково передбачає:

– попіксельне перемноження яскравостей каналів кольорового простору представлення вихідного зображення (вираз (1));

– застосування морфологічної операції *imtophat*  $T_w(g(X))$  до зображення  $g(X)$  (вираз (2)).

Результати попередньої обробки вихідного зображення (рис. 3) наведені на рис. 4.



*a*



*б*

Рис. 4. Результати попередньої обробки вихідного зображення (рис. 3): *a* – результат попіксельного перемноження каналів кольорового простору RGB; *б* – результат застосування морфологічної операції *imtophat*

На рис. 4 при застосуванні морфологічної операції  $\text{imtophat } T_w(g(X))$  до зображення  $g(X)$  (вираз (2)) розмір квадратного вікна обрано  $(9 \times 9)$ .

Зауважимо, що застосування операції  $\text{imtophat}$  є ефективним, якщо текст є світлішим по відношенню до фону (як на рис. 3). У випадку, якщо текст є темнішим за фон (для номерних знаків інших типів), необхідно використовувати аналогічну операцію  $\text{imbothat}$  [30]. Операція  $\text{imbothat}$  обчислює морфологічне закриття зображення (за допомогою  $\text{imclose}$ ), а потім віднімає результат від вихідного зображення [30].

### 5. 2. 2. Знаходження області реєстраційного номеру транспортного засобу

У якості зразка пошуку по максимуму крос-кореляційної функції (вираз (4)) будемо використовувати наступний зразок (рис. 5).

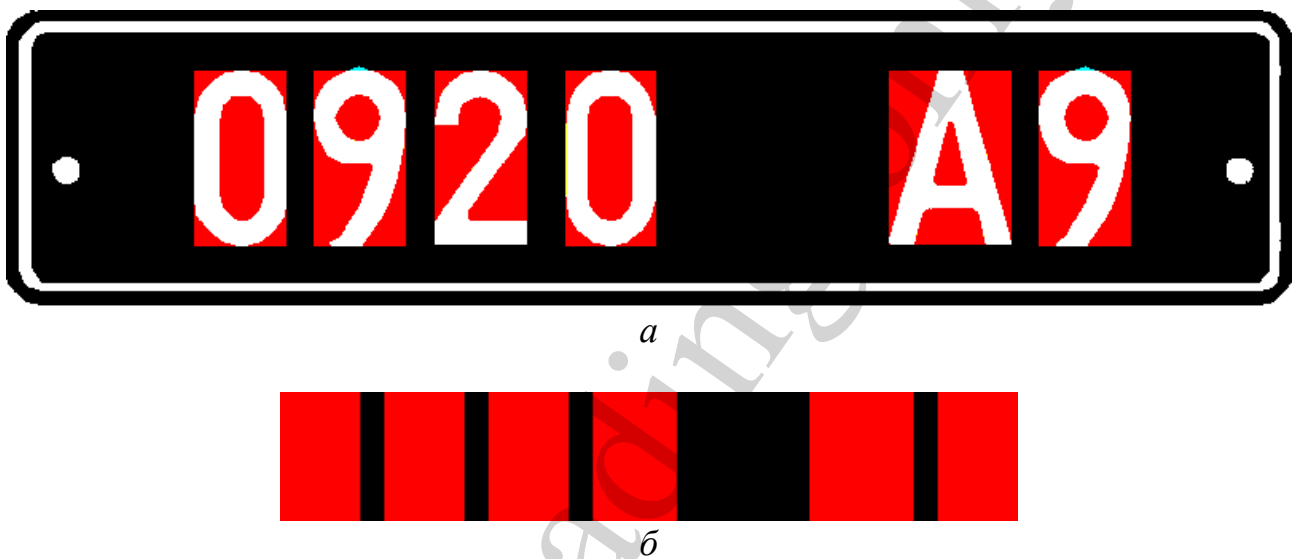


Рис. 5. Зразок пошуку: *a* – шаблон номерного знаку типу рис. 2; *б* – зразок пошуку

На рис. 5 червоним кольором відмічені прямокутні області для цифр і букв.

На рис. 6 наведено приклад поверхні крос-кореляційної функції для зображення реєстраційного номерного знаку (рис. 4, *б*) та зразка (рис. 5, *б*).

Поверхня на рис. 6 розраховано за виразом (4), червоною кольором відмічена точка максимуму крос-кореляційної функції.

Як зазначалося вище, внаслідок руху транспортного засобу розміри реєстраційного номеру також будуть змінюватися. На рис. 7 наведена залежність максимуму крос-кореляційної функції  $m$  від масштабу  $s$ . Червоним кольором на рис. 7 відмічена точка максимуму, що розрахована за виразом (5) та відповідає оптимальному масштабу зразка ( $s_{opt}=0,48$ ).

На рис. 8 наведений результат знаходження області реєстраційного номерного знаку.

На результат знаходження області реєстраційного номерного знаку на рис. 8 накладено оптимально масштабований шаблон пошуку.



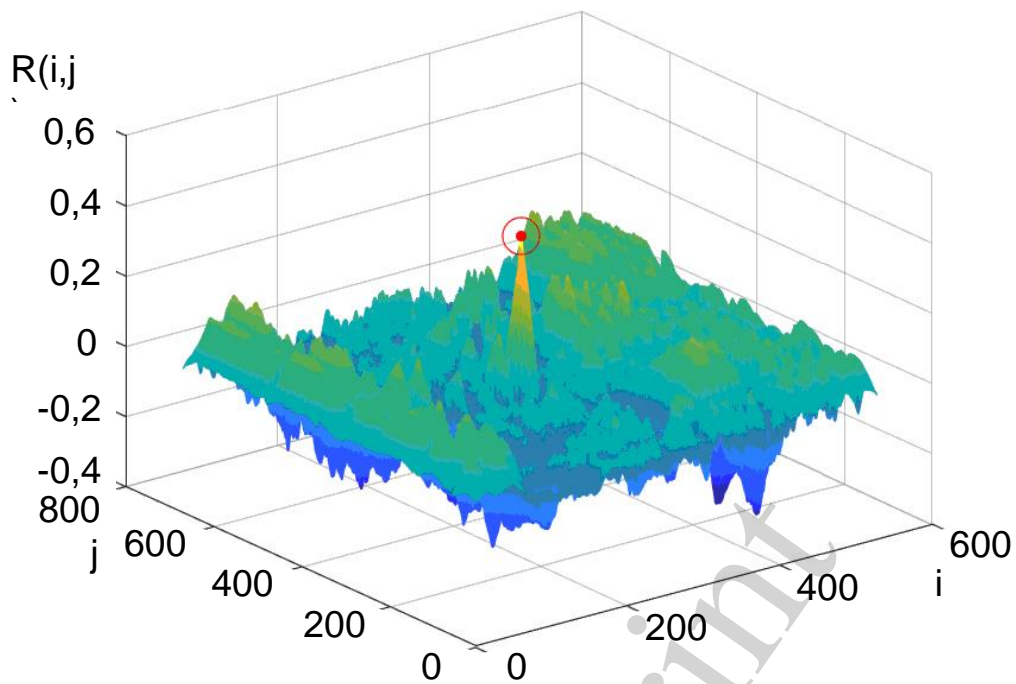


Рис. 6. Приклад поверхні крос-кореляційної функції для зображення реєстраційного номерного знаку (рис. 4, б) та зразка (рис. 5, б)

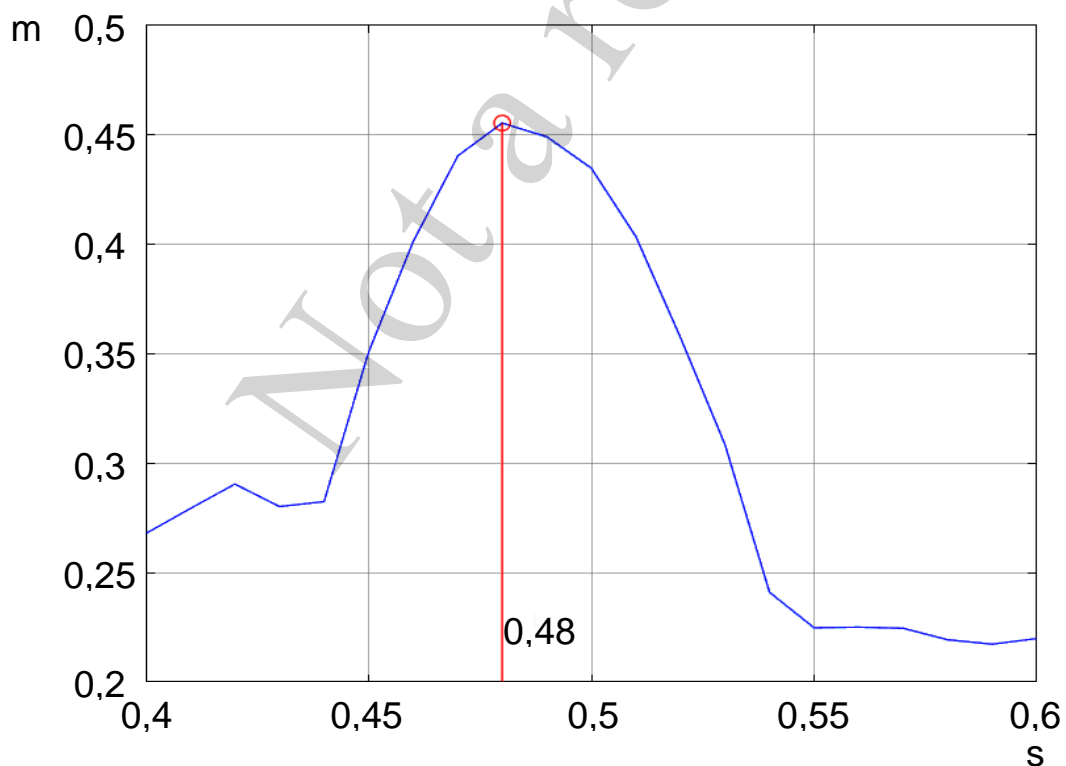


Рис. 7. Залежність максимуму крос-кореляційної функції  $m$  від масштабу  $s$



Рис. 8. Результат знаходження області реєстраційного номерного знаку, на який накладено оптимально масштабований шаблон пошуку

### 5. 2. 3. Розпізнавання символів реєстраційного номеру транспортного засобу

Зображення символів, що використовуються у якості зразків наведені на рис. 9.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A  
B C E H I K M O P T X

Рис. 9. Зображення символів, що використовуються у якості зразків

Зображення символів номерного знаку наведені на рис. 10.



Рис. 10. Зображення символів номерного знаку: *a* – знайдена область номерного знаку; *б* – бінаризоване зображення; *в* – виділення кожного символу, як окремої 4-зв'язної області (показано окремими кольорами)

На рис. 10 бінарзація зображення реєстраційного номерного знаку проведена по методу Отсу [28].

Графіки крос-кореляційних функцій для символів реєстраційного номеру наведені на рис. 11–16.

На рис. 11–16 червоними колами відмічені точки максимумів, що відповідають знайденим символам. На рис. 11 максимум відповідає символу "3". На рис. 12 максимум відповідає символу "7". На рис. 13 максимум відповідає символу "2". На рис. 14 максимум відповідає символу "7". На рис. 15 максимум відповідає символу "B". На рис. 16 максимум відповідає символу "1".

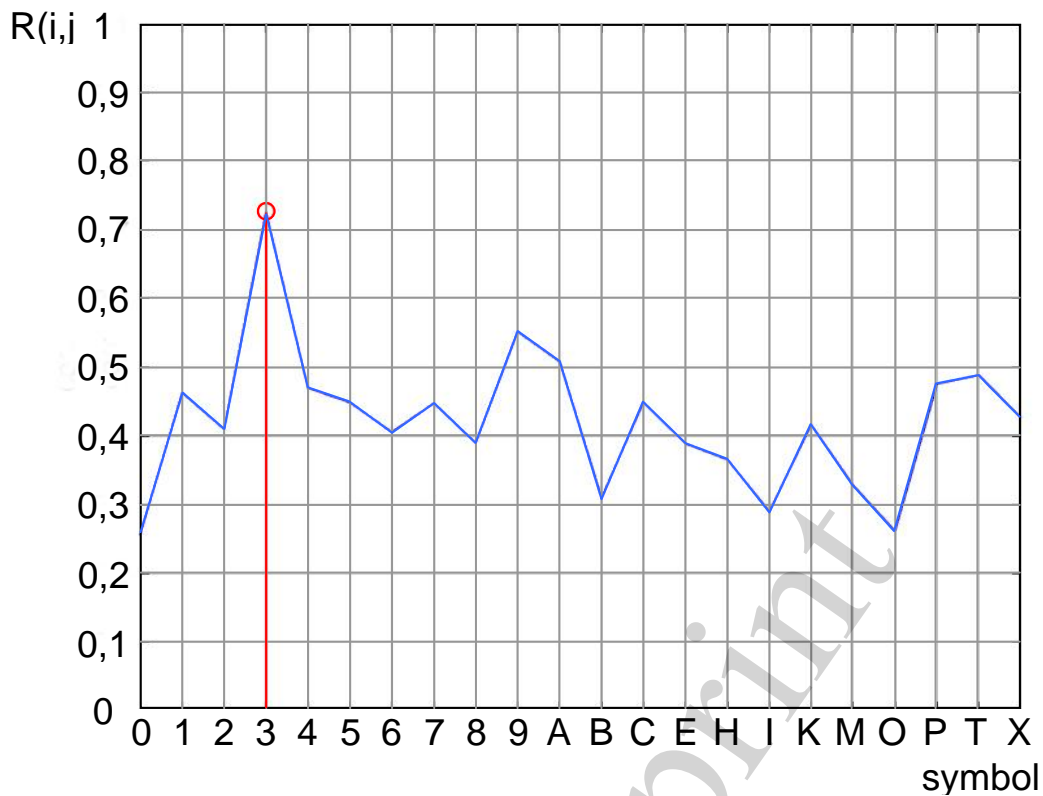


Рис. 11. Графік крос-кореляційної функції для символів реєстраційного номеру, максимум відповідає символу "3"

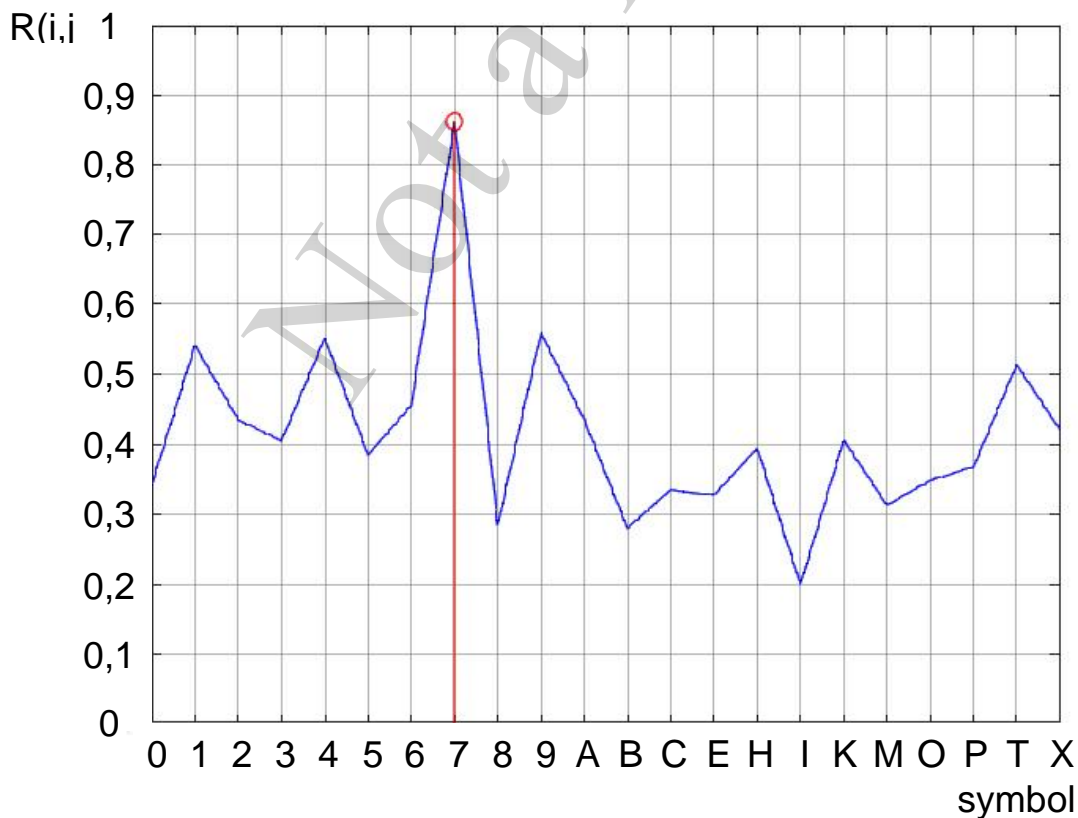


Рис. 12. Графік крос-кореляційної функції для символів реєстраційного номеру, максимум відповідає символу "7"

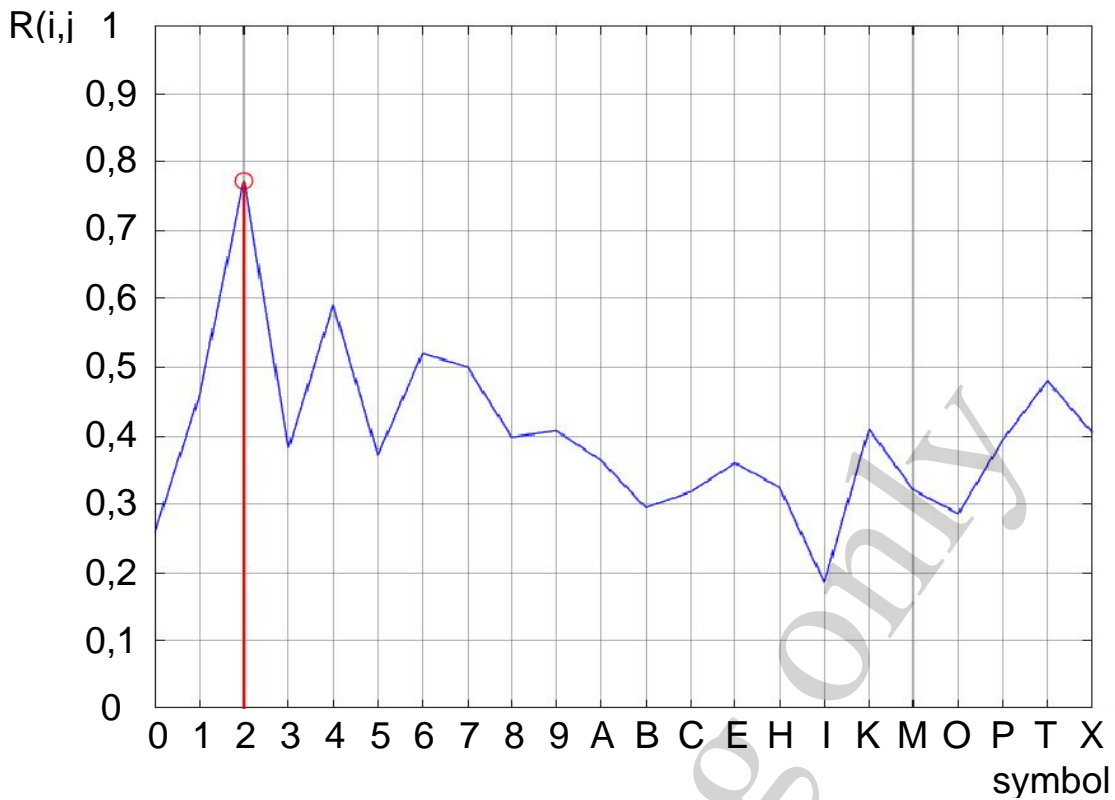


Рис. 13. Графік крос-кореляційної функції для символів реєстраційного номеру, максимум відповідає символу "2"

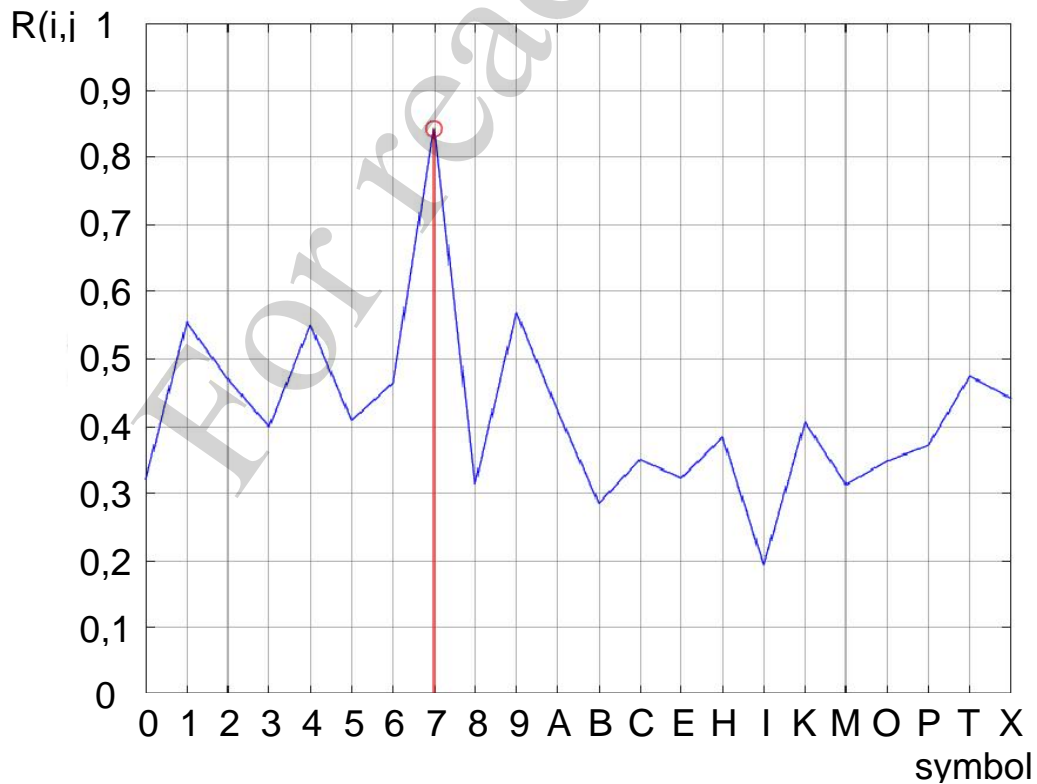


Рис. 14. Графік крос-кореляційної функції для символів реєстраційного номеру, максимум відповідає символу "7"

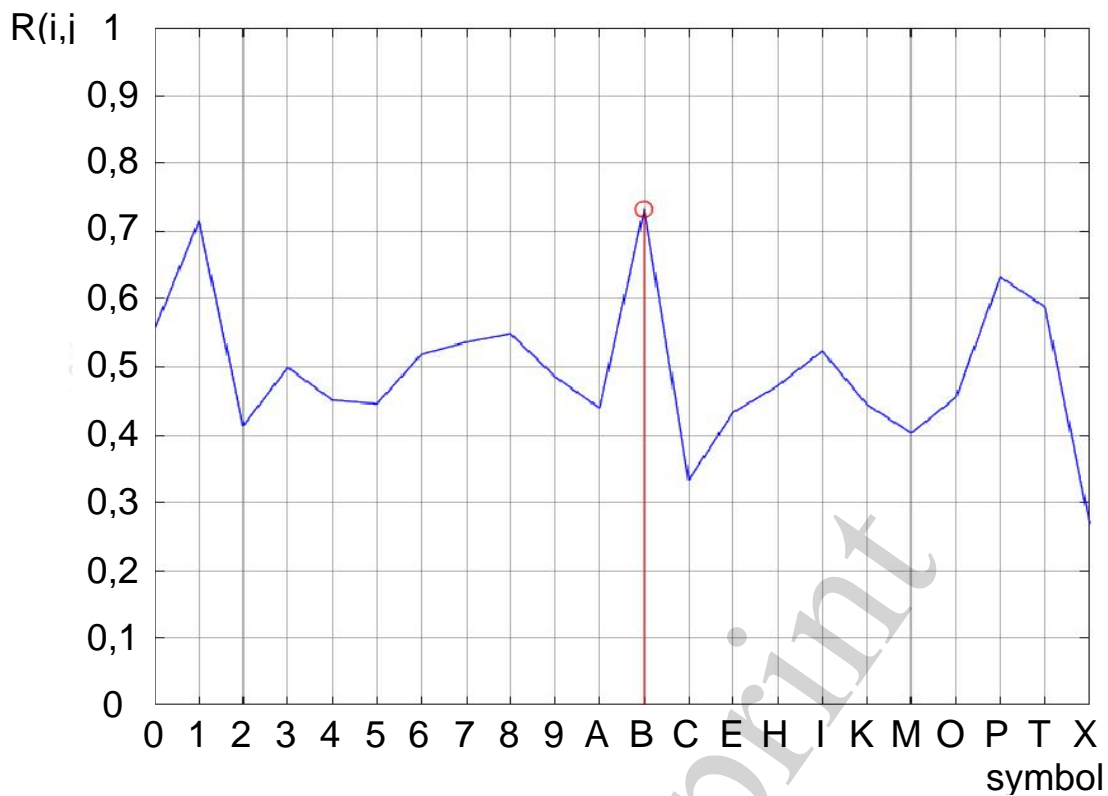


Рис. 15. Графік крос-кореляційної функції для символів реєстраційного номеру, максимум відповідає символу "B"

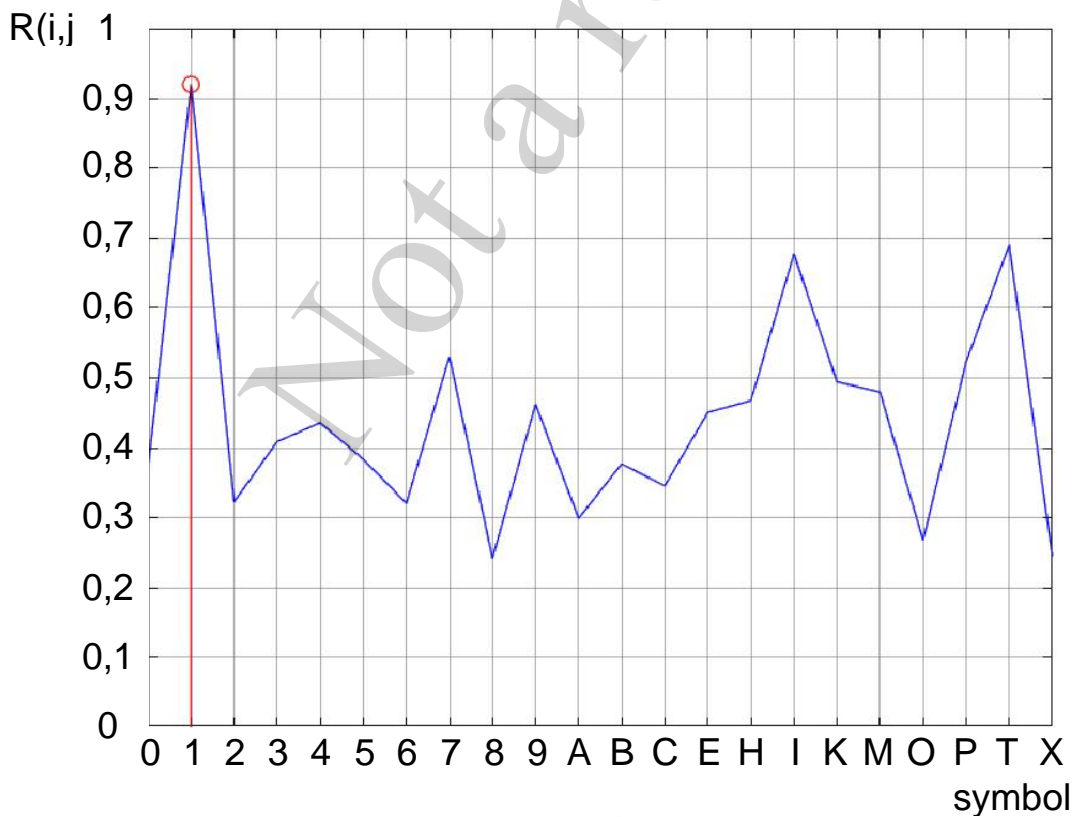


Рис. 16. Графік крос-кореляційної функції для символів реєстраційного номеру, максимум відповідає символу "1"

#### 5. 2. 4. Уточнення розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного номеру

Наведені вище етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу можуть некоректно працювати у випадку спотворюючих факторів. Такими факторами є, наприклад, наявність бруду, ефекти освітлення, значні перспективні спотворення тощо.

Для покращення якості розпізнавання символів реєстраційного номеру (наприклад, в умовах наявності бруду, ефектів освітлення, значних перспективних спотворень) будемо враховувати сигнатуру реєстраційного номеру. Так, наприклад, для номерного знаку типу рис. 2 сигнатура представлена на рис. 17.

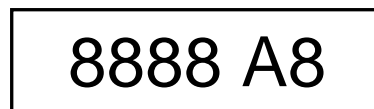


Рис. 17. Сигнатура для номерного знаку типу рис. 2

На рис. 17 символ "8" позначає довільну цифру з набору "0123456789", символ "А" позначає довільну літеру з набору "АВСЕНІКМОРТХ".

Таким чином, пошук області реєстраційного номерного знаку здійснюється по загальному шаблону  $T$ , а для визначення того, чи даний символ є цифрою чи літерою, використовуються спеціальні шаблони  $T_8$  і  $T_A$  відповідно (рис. 18).



Рис. 18. Шаблиони пошуку (номерний знак типу рис. 2, сигнатура "8888 A8"):  $a$  – загальний  $T$ ;  $b$  – цифровий  $T_8$ ;  $v$  – літерний  $T_A$

При цьому кожен символ (бінарне зображення  $b$ ) відноситься до цифр чи до літер в залежності від того, в який саме шаблон він попадає. Тобто йде перевірка виконання умови (вираз (6)):

$$\sum_x \sum_y (b \text{ and } T_8)_{x,y} > \sum_x \sum_y (b \text{ and } T_A)_{x,y}. \quad (6)$$

Зауважимо, що завжди виконується умова (вираз (7)):

$$T = T_8 \text{ or } T_A. \quad (7)$$

На рис. 19, 20 наведено приклад некоректного розпізнавання та його уточнення з використанням сигнатури реєстраційного номеру.

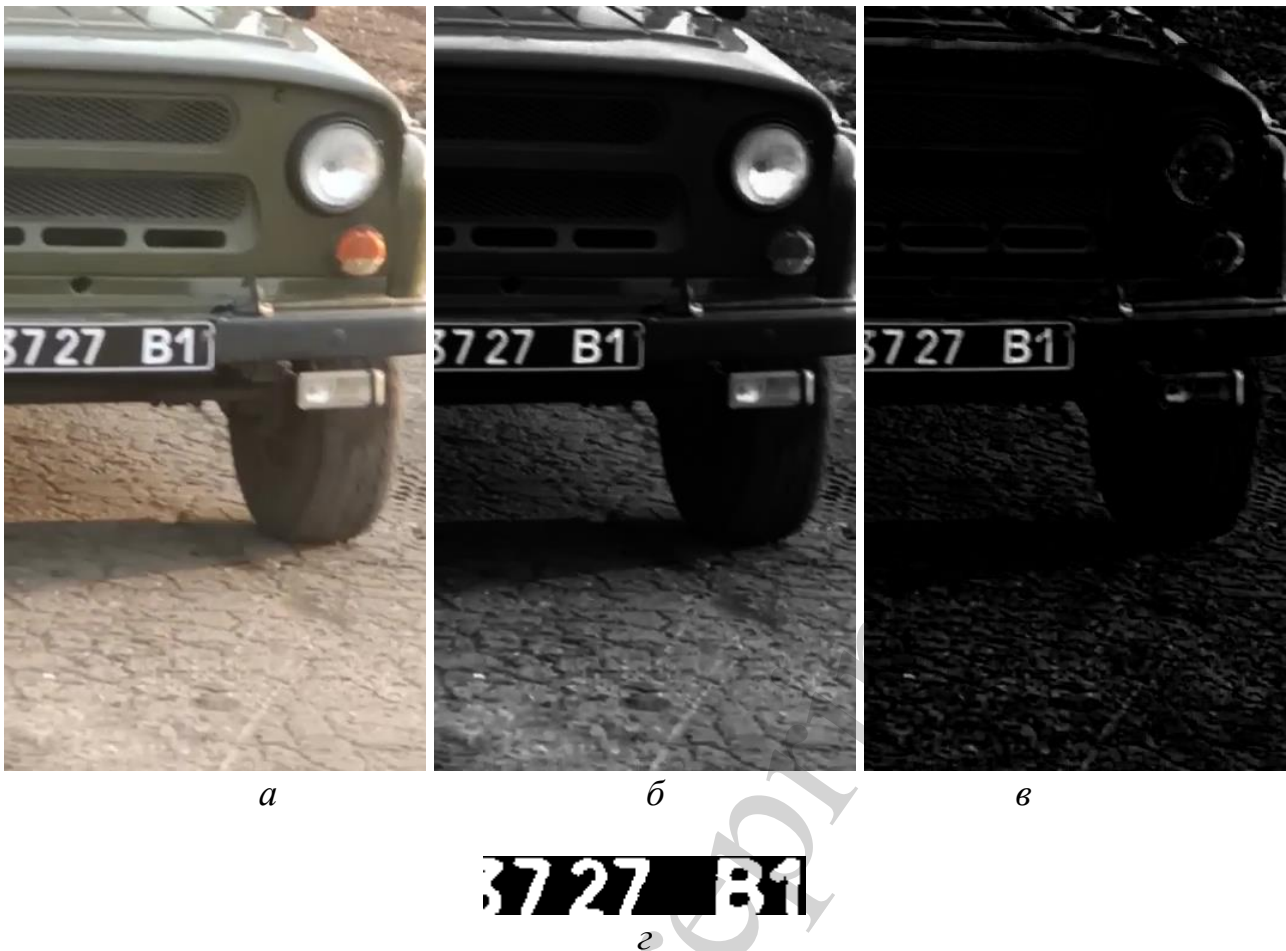
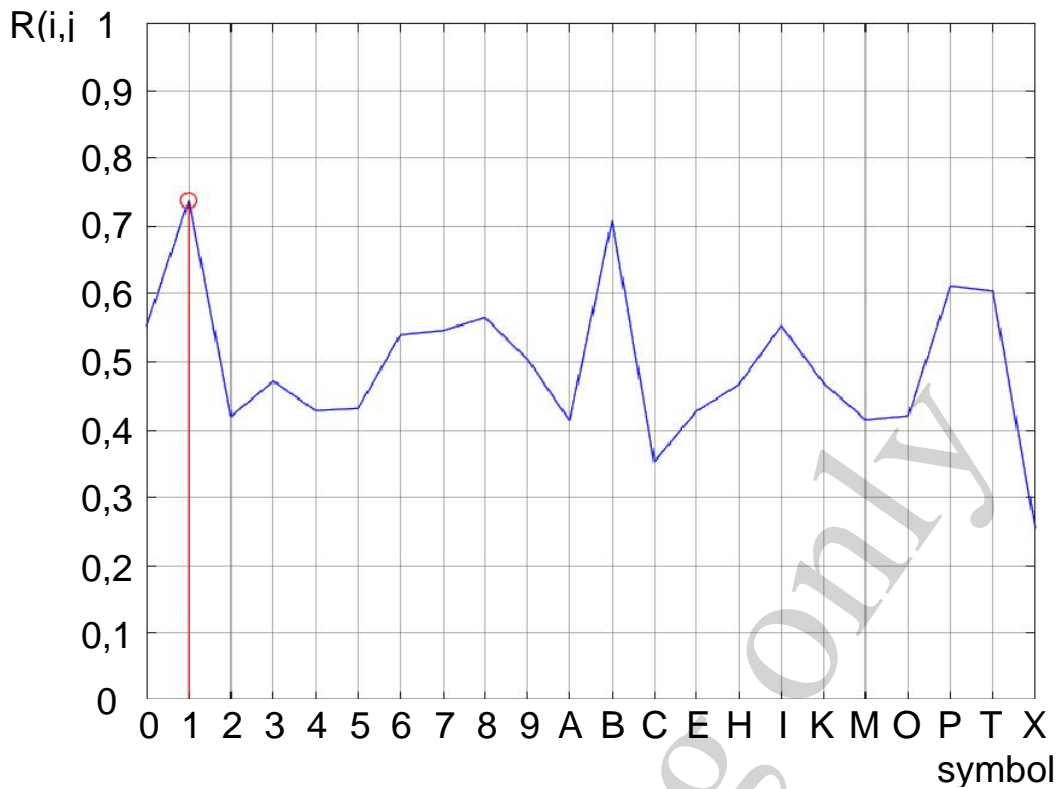
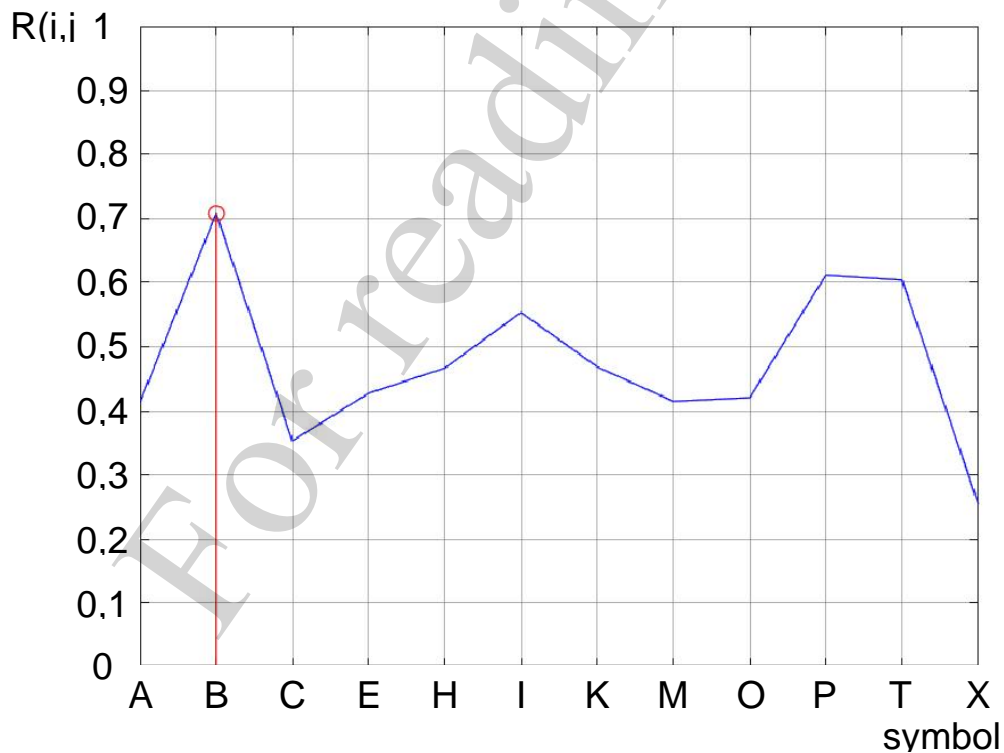


Рис. 19. Приклад некоректного розпізнавання символів та його уточнення з використанням сигнатури реєстраційного номеру: *a* – вихідне зображення; *б* – результат перемноження каналів; *в* – результат морфологічної обробки; *г* – бінаризоване зображення області номерного знаку

На рис. 19, *a* наведено вихідне зображення, для якого проводиться описана вище попередня обробка (рис. 19, *б, в*) і знаходиться бінаризована область реєстраційного номеру (рис. 19, *г*). Внаслідок легкого розмиття вихідного зображення максимуми крос-кореляційних функцій розпізнавання символу "В" для набору "0123456789АВСЕНІКМОРТХ" (рис. 20, *a*) є близькими для символів "1" та "В". При цьому значення для символу "1" є більшим, тому символ "В" розпізнається як "1". Тим не менш, якщо звузити алфавіт розпізнавання до набору символів "АВСЕНІКМОРТХ", то даний символ розпізнається коректно як символ "В" (рис. 20, *б*).



*a*



*б*

Рис. 20. Приклад некоректного розпізнавання символів та його уточнення з використанням сигнатури реєстраційного номеру: *a* – графік максимумів крос-кореляційних функцій розпізнавання символу "В" для набору "0123456789АВСЕНІКМОРТХ"; *б* – графік максимумів крос-кореляційних функцій розпізнавання символу "В" для набору "АВСЕНІКМОРТХ"



### 5.2.5. Уточнення розпізнавання символів з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео

Щоб покращити якість розпізнавання реєстраційного номеру транспортного засобу пропонується усереднювати отримані вектори імовірності розпізнавання  $p$  по всіх попередніх зображеннях (вираз (8)):

$$\bar{p}_t = \frac{1}{t} \sum_{\tau=1}^t p_{\tau}, \quad (8)$$

де  $t$  – номер зображення в послідовності кадрів;  $p_t$  – вектор імовірності розпізнавання символів (нормований вектор максимумів крос-кореляційних функцій). Довжина вектору  $p_t$  складає 10 – для цифр і 12 – для букв для набору "0123456789АВСЕНІКМОРТХ";  $\bar{p}_t$  – усереднений вектор імовірності розпізнавання символів.

### 5.3. Оцінювання якості обробки зображення реєстраційного номеру відомими та розробленим методом

Для порівняння якості розпізнавання символів реєстраційного номеру будемо розглядати наступні методи:

– стандартний метод для систем оптичного розпізнавання символів Tesseract [32], який є складовою частиною більшості систем розпізнавання автомобільних номерів [33];

– удосконалений метод розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного номеру;

– удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео.

Результати розпізнавання символів реєстраційного номеру різними методами наведені в табл. 1.

З аналізу табл. 1 видно, що удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео якісно працює в кінці послідовності. Там, незважаючи на часткову видимість номерного знаку, отримується правильний результат. Додатковою і визначальною перевагою удосконаленого методу з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео є те, що найбільш точно номер визначається одразу після завершення послідовності. В той час, як для результатів, що отримано за допомогою Tesseract та удосконаленого методу розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного номеру необхідно визначити додатковий критерій вибору правильного значення із послідовності. Слід також зауважити, що Tesseract та удосконалений метод розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного номеру вимагають постобробки символічних послідовностей. Удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео працює з числовими векторами імовірностей. Це є простіше і дозволяє напряму використовувати такі методи, як усереднення, байесівський підхід тощо. В той час як для символічних послідовностей доступні тільки рангові ста-

тики (наприклад, медіана), а застосування інших методів не є очевидним і вимагає їх переозначення.

Таблиця 1

Порівняння результатів розпізнавання символів реєстраційного номеру різними методами (правильне значення "3727B1")

Номер кадру	Метод Tesseract	Удосконалений метод розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного номеру	Удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео
1	***7B1	***7B1	***7B1
2	***7B1	***7B1	***7B1
3	**77B1	**77B1	**77B1
4	**27B1	**27B1	**27B1
5	**27B1	**27B1	**27B1
6	**27B1	**27B1	**27B1
7	**27B1	**27П1	**27B1
8	*727B1	*127B1	*127B1
9	*727B1	*727B1	*727B1
10	E727B1	1727B1	1727B1
11	3727B1	3727B1	3727B1
12	3727B1	3727B1	3727B1
13	3727B1	3727B1	3727B1
14	3727B1	3727B1	3727B1
15	3727B1	3727B1	3727B1
16	3727B1	3727B1	3727B1
17	3727B1	3727B1	3727B1
18	3727B1	3727B1	3727B1
19	3727B1	3727B1	3727B1
20	3727B1	3727B1	3727B1
21	3727B1	3727B1	3727B1
22	3727B1	3727B1	3727B1
23	3727B1	3727B1	3727B1
24	**27B1	**27B1	3727B1
25	***7B1	***7B1	3727B1

Для оцінювання якості знаходження області реєстраційного номеру пропонується використовувати такі показники, що добре себе зарекомендували, як помилки I і II роду [11]. Помилки визначення області реєстраційного номеру I ( $\alpha_1$ ) та II ( $\beta_2$ ) роду визначаються за критерієм максимальної правдоподібності [11]. Критерій максимальної правдоподібності витікає з узагальненого критерію мінімуму середнього ризику [11]. Помилки визначення області реєстраційного номеру I ( $\alpha_1$ ) та II ( $\beta_2$ ) роду розраховуються за виразами (9), (10) відповідно [11]:

$$\alpha_1 = \frac{S_1(g(\mathbf{X}))}{S_2(g(\mathbf{X}))}, \quad (9)$$

$$\beta_2 = 1 - \frac{S_3(g(\mathbf{X}))}{S_4(g(\mathbf{X}))}, \quad (10)$$

де  $S_1(g(\mathbf{X}))$  – площа області зображення, що помилково віднесена до області реєстраційного номеру;  $S_2(g(\mathbf{X}))$  – площа області зображення без реєстраційного номеру вихідного зображення  $g(\mathbf{X})$ ;  $S_3(g(\mathbf{X}))$  – площа правильно визначеної області реєстраційного номеру;  $S_4(f(\mathbf{X}))$  – площа області реєстраційного номеру на вихідному зображенні  $g(\mathbf{X})$ .

Для визначення помилок визначення області реєстраційного номеру I ( $\alpha_1$ ) та II ( $\beta_2$ ) роду була проведена обробка 70 послідовних кадрів відео, на якому автомобіль повністю проїжджав повз камеру. Обробка проводилась двома методами:

– стандартний метод для систем оптичного розпізнавання символів Tesseract (метод 1);

– удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео (метод 2).

Результати розрахунку помилок визначення області реєстраційного номеру I ( $\alpha_1$ ) та II ( $\beta_2$ ) роду наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку помилок визначення області реєстраційного номеру I ( $\alpha_1$ ) та II ( $\beta_2$ ) роду

Гіпотеза щодо події (знайдено чи не знайдено номерний знак)	Номерний знак присутній на зображенні		Номерний знак відсутній на зображенні	
	Метод 1	Метод 2	Метод 1	Метод 2
Номерний знак знайдено	34/70	42/70	23/70	17/70
Номерний знак не знайдено	3/70	0/70	9/70	11/70

При розрахунку помилок визначення області реєстраційного номеру I ( $\alpha_1$ ) та II ( $\beta_2$ ) роду (табл. 2) вважалось, що номерний знак відсутній, якщо максимальне значення крос-кореляційної функції для будь-якого масштабу є меншим за заданий поріг. Величина порогу прийнято рівною 0,25. В якості нульової гіпотези прийнято, що реєстраційний номер присутній на зображенні (принаймні частково), альтернативна гіпотеза полягає в тому, що реєстраційний номер відсутній.

Таким чином, загальна точність знаходження області реєстраційного номеру методом 1 становить 61 %, методом 2 становить 76 %.

Слід також зауважити, що мінімізація кількості похибок I роду є важливішою, ніж зменшення кількості похибок II роду. При хибному знаходженні реєстраційного номеру, ці результати безумовно будуть відкинуті на етапі розпізнавання символів.

## **6. Обговорення результатів дослідження щодо розробки методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу**

Удосконалено метод обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона. Основні етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу (рис. 1) наступні:

- введення вихідних даних – потокове відео, характеристики камери смартфона;
- розкадрування потокового відео;
- попередня обробка зображення реєстраційного номеру транспортного засобу;
- знаходження області реєстраційного знаку транспортного засобу;
- уточнення розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного знаку транспортного засобу;
- уточнення розпізнавання символів з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео;
- отримання результату обробки.

На відміну від відомих, етап попередньої обробки реєстраційного номеру транспортного засобу додатково передбачає:

- попіксельне перемноження яскравостей каналів кольорового простору представлення вихідного зображення;
- застосування морфологічної операції *imtophat* до вихідного зображення.

Враховано, що особливістю знаходження області реєстраційного номеру транспортного засобу є факт руху транспортного засобу. Тому, на відміну від відомих, для ефективної роботи корелятора (вираз (4)) запропоновано підібрати відповідний масштаб зразку пошуку. Для цього знаходиться максимум крос-кореляційної функції (вираз (4)) для різних значень масштабу  $s$ , відповідно масштабується зразок  $t=t(s)$  і вибирається оптимальний масштаб  $s_{opt}$ , який дає максимум значення крос-кореляційної функції (вираз (5)).

Удосконалено метод розпізнавання символів реєстраційного номеру транспортного засобу. Розпізнавання символів реєстраційного номеру транспортного засобу проводиться за допомогою пошуку по зразку по максимуму крос-кореляційної функції (вираз (4)). Зображення символів масштабуються у відповідності до значення оптимального масштабу, що було визначено на попередньому етапі для пошуку області реєстраційного знаку (вираз (5)). Після цього проводиться бінарізацію по Отсу. Потім розраховується крос-кореляційна функція між кожним символом бінаризованого по Отсу зображення знайденої області реєстраційного знаку та кожним символом зразка. Значення максимумів зберігається у вигляді векторів, максимальне значення при цьому відповідає розпізаному символу.

Для розпізнавання реєстраційного номеру в умовах спотворюючих факторів удосконалено метод розпізнавання символів реєстраційного знаку з урахуванням сигнатури реєстраційного номеру. Це дозволяє звузити алфавіт розпізнавання і підняти якість розпізнавання. Також удосконалено метод розпізна-

вання номерів за рахунок врахування результатів обробки інших зображень цього транспортного засобу.

Таким чином, розроблено метод обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу. На відміну від відомих, метод додатково передбачає:

- попіксельне перемноження яскравостей каналів кольорового простору представлення вихідного зображення;
- застосування морфологічної операції  $\text{imtophat } T_w(g(X))$  до зображення  $g(X)$ ;
- пошук по зразку по максимуму крос-кореляційної функції;
- врахування руху транспортного засобу (підбір відповідного масштабу зразку пошуку);
- врахування сигнатури реєстраційного знаку;
- врахування результатів обробки інших зображень цього транспортного засобу.

Проведені експериментальні дослідження щодо обробки зображень реєстраційного номеру.

При проведенні експериментальних досліджень розглядався реєстраційний номер військового автомобіля (Україна) (рис. 2). У якості вихідного розглядалося кольорове зображення (рис. 3). Результати попередньої обробки вихідного зображення (рис. 3) наведені на рис. 4. Результат знаходження області реєстраційного номерного знаку наведений на рис. 8. На рис. 19, 20 наведено приклад некоректного розпізнавання та його уточнення з використанням сигнатури реєстраційного номеру.

Проведено порівняння якості розпізнавання символів реєстраційного номеру. Для порівняння якості розпізнавання символів реєстраційного номеру розглядалися наступні методи:

- стандартний метод для систем оптичного розпізнавання символів Tesseract;
- удосконалений метод розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного номеру;
- удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео.

Результати розпізнавання символів реєстраційного номеру різними методами наведені в табл. 1. З аналізу табл. 1 видно, що удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео якісно працює в кінці послідовності. Там, не зважаючи на часткову видимість номерного знаку, отримується правильний результат. Додатковою і визначальною перевагою удосконаленого методу з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео є те, що найбільш точно номер визначається одразу після завершення послідовності. В той час, як для результатів, що отримано за допомогою Tesseract та удосконаленого методу розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного номеру необхідно визначити додатковий критерій вибору правильного значення із послідовності. Слід також зауважити, що Tesseract та удосконалений метод розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного номеру вимагають постобробки символічних послідовностей. Удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео працює з числовими векторами імовірностей. Це є простіше і

дозволяє напряму використовувати такі методи, як усереднення, байесівський підхід тощо. В той час, як для символічних послідовностей доступні тільки рангові статистики (наприклад, медіана), а застосування інших методів не є очевидним і вимагає їх переозначення.

Проведено оцінювання помилок першого та другого роду при обробці зображення реєстраційного номеру. Помилки визначення області реєстраційного номеру I ( $\alpha_1$ ) та II ( $\beta_2$ ) роду розраховуються за виразами (9), (10) відповідно. Результати розрахунку помилок визначення області реєстраційного номеру I ( $\alpha_1$ ) та II ( $\beta_2$ ) роду наведені в табл. 2. Загальна точність знаходження області реєстраційного номеру методом 1 становить 61 %, методом 2 становить 76 %. Слід також зауважити, що мінімізація кількості похибок I роду є важливішою, ніж зменшення кількості похибок II роду. При хибному знаходженні реєстраційного номеру, ці результати безумовно будуть відкинуті на етапі розпізнавання символів.

Проведеному дослідженню притаманні наступні обмеження та припущення:

– розглядається зображення номерного знаку військового автомобіля (Україна);

– у якості смартфона використовується смартфон OPPO Reno 5 Lite;

– розрізнення відео знімання 1080P/30к/с;

– розкадрування потокового відео проведено;

– кадр потокового відео представляється вихідним зображенням в кольоровому просторі Red-Green-Blue (RGB);

– вплив шумів на зображення не враховується;

– відсутній поворот рамки номерного знаку транспортного засобу;

– транспортний засіб наближається до особи, що проводить знімання;

– умови освітлення – природній фон, природне освітлення;

– ракурс знімання – незначні проєктивні спотворення, здалеку, без повороту.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку методів обробки зображень, на яких присутні декілька транспортних засобів.

## 7. Висновки

1. Удосконалено метод обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу при зніманні камерою смартфона. Основні етапи методу обробки зображення реєстраційного номеру транспортного засобу наступні:

– введення вихідних даних;

– розкадрування потокового відео;

– попередня обробка зображення реєстраційного номеру транспортного засобу;

– знаходження області реєстраційного знаку транспортного засобу;

– уточнення розпізнавання символів з використанням сигнатури реєстраційного знаку транспортного засобу;

– уточнення розпізнавання символів з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео;

– отримання результату обробки.

2. Проведені експериментальні дослідження щодо обробки зображень реєстраційного номеру. При проведенні експериментальних досліджень розглядався реєстраційний номер військового автомобіля (Україна). У якості вихідного розглядалося кольорове зображення. Проведено порівняння якості розпізнавання символів реєстраційного номеру. Встановлено, що удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео якісно працює в кінці послідовності. Удосконалений метод з використанням об'єднання результатів кадрів потокового відео працює з числовими векторами імовірностей.

3. Проведено оцінювання помилок першого та другого роду при обробці зображення реєстраційного номеру. Загальна точність знаходження області реєстраційного номеру методом 1 становить 61 %, методом 2 становить 76 %. Слід також зауважити, що мінімізація кількості похибок I роду є важливішою, ніж зменшення кількості похибок II роду. При хибному знаходженні реєстраційного номеру, ці результати безумовно будуть відкинуті на етапі розпізнавання символів.

### Литература

1. OSCE Special Monitoring Mission to Ukraine (SMM) Daily Report 11/2022 issued on 18 January 2022. Organization for Security and Co-operation in Europe. URL: <https://www.osce.org/special-monitoring-mission-to-ukraine/510200>
2. Nechepurenko, I., Higgins, A. (2022). In Kazakhstan's Street Battles, Signs of Elites Fighting Each Other. The New York Times. URL: <https://www.nytimes.com/2022/01/07/world/asia/kazakhstan-protests.html>
3. Lee, H., Kim, D., Kim, D., Bang, S. Y. (2003). Real-Time Automatic Vehicle Management System Using Vehicle Tracking and Car Plate Number Identification. 2003 International Conference on Multimedia and Expo. ICME '03. Proceedings (Cat. No.03TH8698). doi: <https://doi.org/10.1109/icme.2003.1221626>
4. Кирпичников, А. П., Ляшева, С. А., Обухов, А. В., Шлеймович, М. П. (2015). Автоматическое распознавание автомобильных номеров. Вестник технологического университета, 18 (4), 218–222. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskoe-raspoznavanie-avtomobilnyh-nomerov>
5. Viola, P., Jones, M. (2001). Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001. doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2001.990517>
6. Gholami, R., Fakhari, N. (2017). Support Vector Machine: Principles, Parameters, and Applications. Handbook of Neural Computation, 515–535. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811318-9.00027-2>
7. Awad, M., Khanna, R. (2015). Support Vector Machines for Classification. Efficient Learning Machines, 39–66. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-5990-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-5990-9_3)
8. Jun, Z. (2021). The Development and Application of Support Vector Machine. Journal of Physics: Conference Series, 1748 (5), 052006. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1748/5/052006>

9. Hung, K.-M., Hsieh, C.-T. (2010). A Real-Time Mobile Vehicle License Plate Detection and Recognition. *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 13 (4), 433–442. doi: <https://doi.org/10.6180/jase.2010.13.4.09>
10. Hassanein, A. S., Mohammad, S., Sameer, M., Ragab, M. E. (2015). A Survey on Hough Transform, Theory, Techniques and Applications. *International Journal of Computer Science Issues*, 12 (1 (2)), 139–156. URL: [https://www.researchgate.net/publication/272195556\\_A\\_Survey\\_on\\_Hough\\_Transform\\_Theory\\_Techniques\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/272195556_A_Survey_on_Hough_Transform_Theory_Techniques_and_Applications)
11. Ruban, I., Khudov, H., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Lukova-Chuiko, N., Pevtsov, H. et. al. (2019). Method for determining elements of urban infrastructure objects based on the results from air monitoring. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (100)), 52–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174576>
12. Yoo, S. B., Han, M. (2020). Temporal matching prior network for vehicle license plate detection and recognition in videos. *ETRI Journal*, 42 (3), 411–419. doi: <https://doi.org/10.4218/etrij.2019-0245>
13. Wang, D., Tian, Y., Geng, W., Zhao, L., Gong, C. (2020). LPR-Net: Recognizing Chinese license plate in complex environments. *Pattern Recognition Letters*, 130, 148–156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.09.026>
14. Li, H., Wang, P., Shen, C. (2019). Toward End-to-End Car License Plate Detection and Recognition With Deep Neural Networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20 (3), 1126–1136. doi: <https://doi.org/10.1109/tits.2018.2847291>
15. Raghunandan, K. S., Shivakumara, P., Jalab, H. A., Ibrahim, R. W., Kumar, G. H., Pal, U., Lu, T. (2018). Riesz Fractional Based Model for Enhancing License Plate Detection and Recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 28 (9), 2276–2288. doi: <https://doi.org/10.1109/tcsvt.2017.2713806>
16. Chen, S.-L., Tian, S., Ma, J.-W., Liu, Q., Yang, C., Chen, F., Yin, X.-C. (2021). End-to-end trainable network for degraded license plate detection via vehicle-plate relation mining. *Neurocomputing*, 446, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.03.040>
17. Astawa, I., Gusti Ngurah Bagus Caturbawa, I., Made Sajayasa, I., Made Ari Dwi Suta Atmaja, I. (2018). Detection of License Plate using Sliding Window, Histogram of Oriented Gradient, and Support Vector Machines Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 953, 012062. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012062>
18. Zhao, Y., Gu, J., Liu, C., Han, S., Gao, Y., Hu, Q. (2010). License Plate Location Based on Haar-Like Cascade Classifiers and Edges. 2010 Second WRI Global Congress on Intelligent Systems. doi: <https://doi.org/10.1109/gcis.2010.55>
19. Gou, C., Wang, K., Yao, Y., Li, Z. (2016). Vehicle License Plate Recognition Based on Extremal Regions and Restricted Boltzmann Machines. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17 (4), 1096–1107. doi: <https://doi.org/10.1109/tits.2015.2496545>



20. Khan, K., Imran, A., Rehman, H. Z. U., Fazil, A., Zakwan, M., Mahmood, Z. (2021). Performance enhancement method for multiple license plate recognition in challenging environments. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2021 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13640-021-00572-4>
21. Khudov, H., Khudov, V., Yuzova, I., Solomonenko, Y., Khizhnyak, I. (2021). The Method of Determining the Elements of Urban Infrastructure Objects Based on Hough Transformation. *Studies in Systems, Decision and Control*, 247–265. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-87675-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-87675-3_15)
22. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the second-order adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
23. Ruban, I., Khudov, H. (2019). Swarm Methods of Image Segmentation. *Studies in Computational Intelligence*, 53–99. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35480-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35480-0_2)
24. Ruban, I., Khudov, H., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Khudov, V., Podlipaiev, V. et. al. (2019). Segmentation of optical-electronic images from on-board systems of remote sensing of the earth by the artificial bee colony method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (98)), 37–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.161860>
25. Dorigo, M., Stützle, T. (2018). Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances. *International Series in Operations Research & Management Science*, 311–351. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91086-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91086-4_10)
26. Ruban, I., Khudov, H., Makoveichuk, O., Chomik, M., Khudov, V., Khizhnyak, I. et. al. (2019). Construction of methods for determining the contours of objects on tonal aerospace images based on the ant algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 25–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177817>
27. Khudov, H., Oleksenko, O., Lukianchuk, V., Herasymenko, V., Yaroshenko, Y. et. al. (2021). The Determining the Flight Routes of Unmanned Aerial Vehicles Groups Based on Improved Ant Colony Algorithms. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (9), 23–32. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0921\\_03](https://doi.org/10.46338/ijetae0921_03)
28. Gonzalez, R. C., Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing*. Pearson. URL: <https://www.codecool.ir/extra/2020816204611411Digital.Image.Processing.4th.Edition.www.EBooksWorld.ir.pdf>
29. Khudov, H., Ruban, I., Makoveichuk, O., Pevtsov, H., Khudov, V., Khizhnyak, I. et. al. (2020). Development of methods for determining the contours of objects for a complex structured color image based on the ant colony optimization algorithm. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 34–47. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001108>
30. Top-hat transform. Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Top-hat\\_transform](https://en.wikipedia.org/wiki/Top-hat_transform)
31. Choudhary, R., Gupta, R. (2017). Recent Trends and Techniques in Image Enhancement using Differential Evolution- A Survey. *International Journal of*

Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 7 (4), 106–112.  
doi: <https://doi.org/10.23956/ijarcsse/v7i4/0108>

32. Tesseract Open Source OCR Engine (main repository). URL: <https://github.com/tesseract-ocr/tesseract>

33. Hunter LPR Програмний модуль для розпізнавання автомобільних номерів. URL: <https://elsy.com.ua/uk/videoanalitika/13-hunter-lpr-programnij-modul-dlya-rozpiznavannya-avtomobilnikh-nomeriv.html>

For reading only