

ПОСТРЕЛКО ЄГЕНІЙ

Київський державний торговельно-економічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-9730-450X>e-mail: [y.postrelko@knute.edu.ua](mailto:y.postrelko@knute.edu.ua)

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЗА ДОРОЖНІМ РУХОМ

*Системний аналіз технологічних засобів контролю за дорожнім рухом. Стаття присвячена детальному аналізу технологічних засобів контролю за дорожнім рухом. Автором досліджено трафік щодо модернізації транспортної інфраструктури через призму питань руху автомобілів та громадського транспорту, для розробки нових алгоритмів оптимізації трафіку та підвищення ефективності використання дорожньої інфраструктури.*

*Ключові слова: контроль за дорожнім рухом, відеозображення, розпізнавання номерних знаків.*

POSTRELKO YEVHENII

State University of Trade and Economics

### SYSTEM ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL MEANS OF TRAFFIC CONTROL

*The article provides an overview of traffic control, showing the evolution from manual control to modern automated systems that use advanced data analysis and processing technologies. The initial methods, such as road signs and manual regulation, have been supplemented and replaced over time by automated systems such as traffic lights and surveillance cameras, providing more efficient and safer traffic management. The introduction of computer technologies and video surveillance systems capable of recognizing license plates and analyzing the behavior of vehicles has opened up new opportunities for collecting and analyzing large volumes of data. This made it possible not only to detect violations of traffic rules, but also to optimize traffic and plan infrastructure projects. Modern research in the field of traffic control uses a variety of methods, each of which has its own advantages and disadvantages. Methods based on color characteristics and textural properties allow accurate identification of vehicles even in difficult conditions, but their effectiveness may decrease in low light or high level of external interference. Technologies that analyze geometric parameters or use machine learning algorithms demonstrate high accuracy, but require significant computing resources. Further research will focus on a deeper analysis of specific issues of car traffic and public transport, development of new traffic optimization algorithms and increasing the efficiency of road infrastructure use. In view of the constant development of technologies and growing requirements for environmental friendliness and safety of transport systems, the relevance of such research is only increasing.*

*Key words: traffic control, video image, number plate recognition.*

### Постановка проблеми

Не зважаючи на значне розповсюдження засобів контролю за дорожнім рухом, практично відсутній системний підхід до порівняльного аналізу інструментів для контролю дорожнього руху. Дана стаття містить порівняльний аналіз існуючих технічних систем у галузі контролю дорожнього руху та окремих процесів у ланцюгу такого контролю. Актуальність проблеми полягає в тому, що через збільшення кількості транспорту збільшується забруднення повітря, час у дорозі, доступність для екстрених служб тощо. Також від збільшення учасників дорожнього руху зростає кількість ДТП, яку можна було б зменшити через аналіз найчастіших ситуацій, які призводять до аварій, та усунення їх шляхом перебудови переважаних ділянок дороги, встановлення додаткових світлофорів, камер контролю швидкості та інших превентивних заходів.

Аналіз трафіку допоможе модернізувати транспортну інфраструктуру і дати відповідь на питання які маршрути громадського транспорту потребують змін, де не вистачає або навпаки забагато рухомого складу, що може мотивувати водіїв пересісти на громадський транспорт?

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Детальні опрацювання щодо покращення норм контролю були представлені Джеймсом Хогом, Корті М., Ахмад І.

### Формулювання цілей статті

**Мета статті** полягає в системному аналізі та порівнянні існуючих підходів до регулювання та контролю дорожнього руху для подальшого використання їх у у вдосконаленні системи транспортних потоків великого міста. Спроби впорядкувати дорожній рух робляться вже давно. Першим способом, який час від часу використовується і сьогодні, були поліцейські регулювальники. Поліцейські використовують для цього систему знаків та рухів руками та спеціальною палицею, яка називається жезл. Однак з появою такого методу регулювання тільки деякі водії звертали увагу на поліцейського, що несло загрозу як для водіїв та пасажирів транспортних засобів, так і для пішоходів. Для вирішення цього питання інженер Джеймс Хог [1] звернув увагу на те, яким чином регулювався рух на залізничних коліях. Він запозичив пристрій, який показував по чергово зелений та червоний колір та приєднав його до трамвайних силових ліній, які проходили над дорогою. Зараз цей виріб широко відомий нам під назвою світлофор.

### Виклад основного матеріалу

Створення та перебудова традиційних перехресть у перехрестя з круговим рухом (рис. 1) може вирішити декілька проблем, зокрема проблему оглядовості. Оскільки водії що очікуючи свої черги мають у полі зору все перехрестя, вони можуть оцінити ситуацію і обрати найбільш безпечний момент для в'їзду на перехрестя. Існує кілька способів знизити швидкість транспортних засобів, що в'їжджають на перехрестя з

круговим рухом, навіть якщо на дорогах, що ведуть до перехрестя, швидкість руху набагато вища. До них відносяться знаки, шумові смуги, пробліскові маячки та інші візуальні сигнали (рис. 1), які чітко попереджають водіїв про наближення перехрестя з круговим рухом.

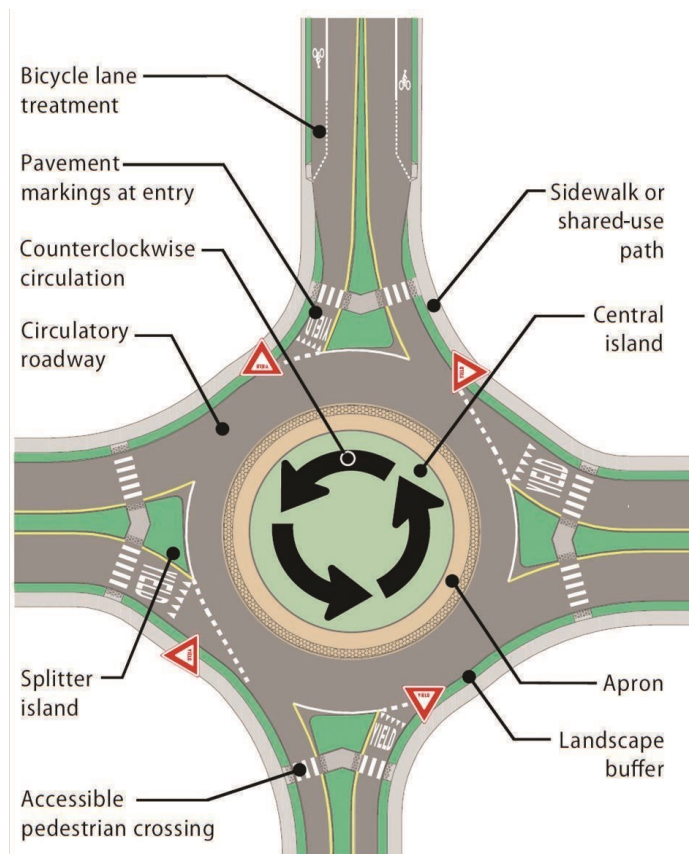


Рис. 1. Перехрестя з круговим рухом, вдосконалене знаками дорожнього руху та розміткою [2]

### Системи відеотехнологій для контролю над дорожнім рухом.

Система відеоспостереження дозволяє контролювати декілька камер і аналізувати згенеровані зображення для отримання корисної інформації [3] про параметри руху, такі як швидкість, склад транспортного потоку, форми транспортних засобів, типи транспортних засобів, ідентифікаційні номери транспортних засобів та випадки порушень правил дорожнього руху або дорожньо-транспортних пригод. Це дуже допомагає транспортним органам, дозволяючи їм приймати відповідні рішення і поширювати інформацію про дорожній рух серед водіїв [4], що призводить до покращення транспортного потоку, швидкого виявлення аварій, скорочення часу в дорозі, зменшення споживання палива, зниження викидів і більшої задоволеності мандрівників [5, 6]. Типова система відеоспостереження, показана на рис. 2, складається з наступних компонентів:

- Система камер: всі системи відеоспостереження містять групу камер для спостереження за певними ділянками та отримання зображень з них. Камери можуть бути аналоговими або цифровими. Однак аналогові камери мають низьку роздільну здатність, обмежений обсяг пам'яті і складнощі з пошуком зображень. Існує два типи камер відеоспостереження, залежно від методу запису: неавтоматичний запис і автоматичний запис; різниця полягає в тому, що в камерах не автоматичного запису немає інтелектуальних детекторів, які б визначали, чи є щось варте запису, чи ні, що вимагає кваліфікованого спостерігача для моніторингу відеозаписів. З іншого боку, камери відеоспостереження з автоматичним записом містять детектори для виявлення аномальних дій і, відповідно, їх запису [7]. Це має велику перевагу в плані економії електроенергії, а також зберігання даних.
- Допоміжні засоби перегляду: захоплені зображення можна переглядати в режимі реального часу або записувати для подальшого перегляду [8]. Спостерігачі, як на місці, так і за його межами, можуть переглядати захоплені зображення через Інтернет чи будь-яку іншу мережу [9].
- Центральний контролер: ця частина відповідає за попередню обробку, обробку та пост-обробку отриманих зображень. Ці функції можуть виконуватися вручну або автоматично за допомогою комп'ютерного обладнання та програмного забезпечення.

Можна виділити два основні підходи до комп'ютерного аналізу даних відеоспостереження в системах керування дорожнім рухом: системи на основі звуку та системи на основі зображень. Ми зосередимось на системах другого типу.

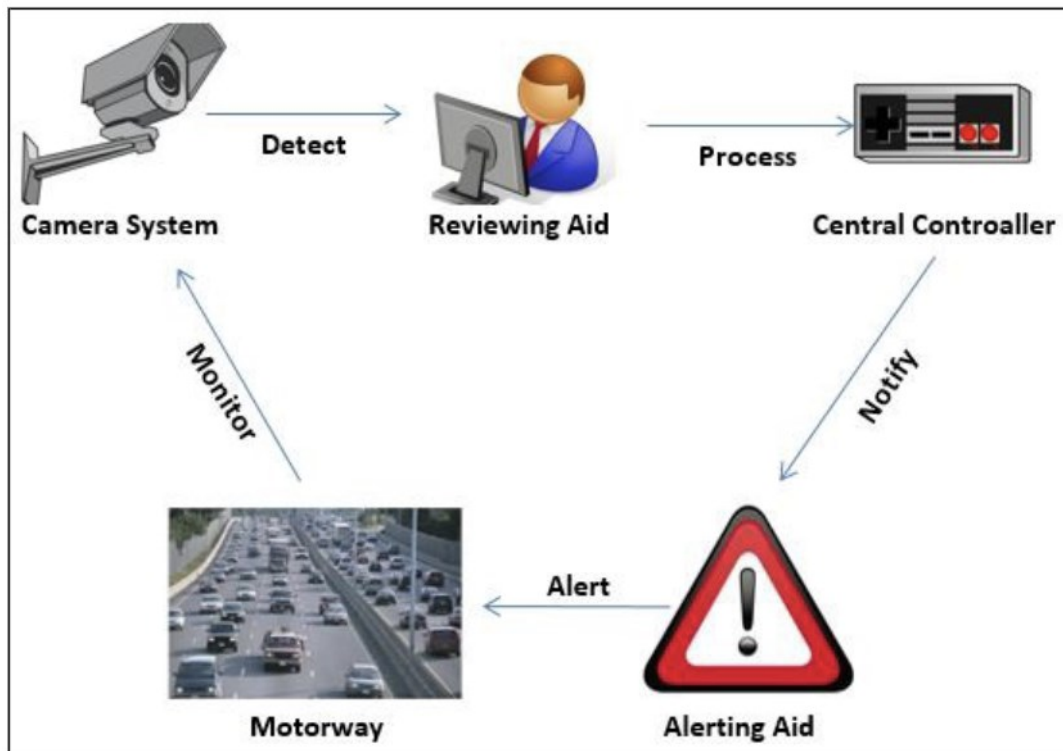


Рис. 2. Основні компоненти та робочий процес у системі відеоспостереження для контролю за дорожнім рухом [10]

Системи відеоспостереження на основі зображень здатні розпізнавати незвичайні та аномальні події на дорогах шляхом аналізу цифрових зображень і вилучення параметрів руху, таких як швидкість і склад транспортного потоку. Зазвичай використовуються спеціальні програмні інструменти, які допомагають розпізнавати форми транспортних засобів, типи транспортних засобів, ідентифікаційні номери транспортних засобів, а також випадки порушень правил дорожнього руху або дорожньо-транспортних пригод. На рис. 3 показано систему автоматичного розпізнавання номерних знаків як приклад такого інструменту.

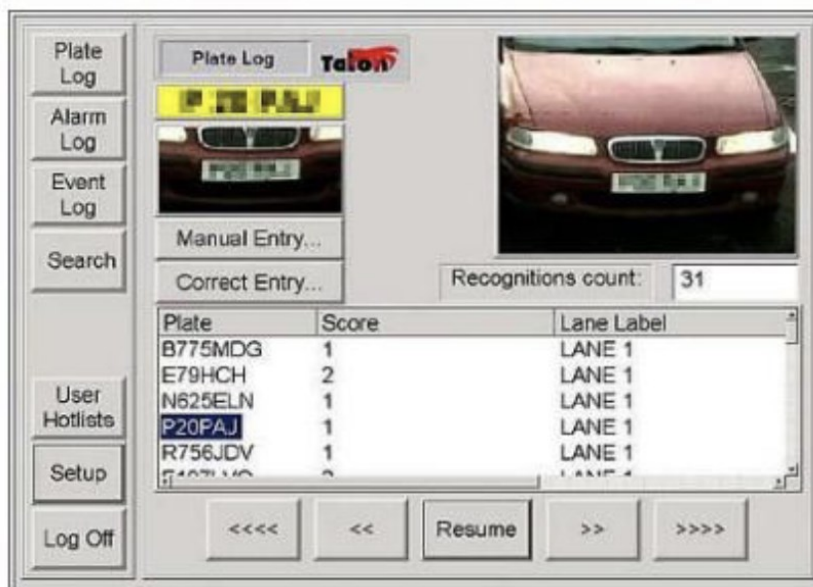


Рис. 3. Програмний інструмент автоматичного розпізнавання номерних знаків для автоматичного вилучення інформації про транспортний засіб [10]

Існує три кроки, які зазвичай виконує система відеоспостереження на основі зображень для автоматичного аналізу захоплених зображень:

- Попередня обробка: на цьому етапі з отриманих зображень видаляються несуттєві деталі та шуми, такі як тіні, світлові ефекти, дощ та ефекти руху камери. Цей крок потрібен для отримання більш точних результатів.
- Обробка: сирі або попередньо оброблені зображення обробляються шляхом пошуку певних шаблонів, вилучення релевантних ознак та їх виділення. Було розроблено фреймворк для обробки захоплених зображень з камер відеоспостереження зі сцен керування дорожнім рухом. Він працює шляхом

виявлення транспортних засобів на основі маски руху або текстури зображення. Детектор використовує оцінку фону для моделювання статичної частини сцени після видалення непотрібних деталей, таких як тіні

- **Постобробка:** якщо камери відеоспостереження безперервно записують певні сцени, їхній перегляд буде складним і трудомістким завданням через їхню велику кількість. Такі інструменти як BriefCam [11] можуть автоматично підсумовувати записані сцени. Основна ідея програмного забезпечення полягає в тому, що більшість камер відеоспостереження є стаціонарними і тому вони записують статичні фони. В результаті, коли в кадр потрапляє рухомий об'єкт, його можна виявити і виділити фрагменти відео, що містять його. Потім всі події, що відбуваються в певний період часу, накладаються в коротке відео, яке показує всі дії одночасно. Оператору або експерту потрібно лише переглянути зведене відео. Якщо він помітить щось незвичайне, він може натиснути на нього, щоб перейти до відповідної точки в оригінальному відео.

### Огляд сучасних рішень контролю трафіку

У цьому підрозділі проведено аналіз та порівняння існуючих рішень для контролю за дорожнім рухом, які використовуються для покращення безпеки та ефективності на дорогах. Різноманітність та складність сучасних транспортних потоків вимагають застосування передових технологій, здатних забезпечити оперативне управління та реагування на змінні умови дорожнього руху. Використання камер відеоспостереження, сенсорів та інших технологічних рішень дозволяє не лише моніторити стан доріг, але й аналізувати дані для виявлення тенденцій та проблемних зон, що сприяє прийняттю оперативних рішень щодо регулювання трафіку. У порівняльному аналізі ми розглянемо основні характеристики, переваги та недоліки систем від різних компаній, щоб визначити, які з них найбільш ефективно вирішують актуальні завдання в сфері дорожнього руху.

Проаналізувавши пропозиції на ринку систем контролю за дорожнім рухом можна виділити наступні компанії:

- **Pelco.** Пропонує камери спостереження за дорожнім рухом, які широко використовуються в містах для моніторингу та управління транспортними потоками, виявлення інцидентів і забезпечення дотримання правил дорожнього руху. Також їх рішення інтегруються в більш широкі системи безпеки, які можуть включати в себе все, від міського спостереження до конкретних додатків, таких як безпека в аеропортах або магазинах.

- **Vizzion.** Постачальник даних з камер спостереження за дорожнім рухом, який підтримує додатки, що потребують візуальної перевірки дорожніх умов та дорожніх інцидентів у реальному часі. Їхні пропозиції в першу чергу зосереджені на агрегації та розповсюдженні прямих трансляцій з камер спостереження за дорожнім рухом з усього світу.

- **Avigilon.** Є дочірньою компанією Motorola Solutions, спеціалізується на наданні передових рішень для безпеки та спостереження, включаючи системи моніторингу дорожнього руху. Їхні технології спрямовані на підвищення громадської безпеки, оптимізацію транспортних потоків та підтримку міських ініціатив з відеоспостереження.

Всі ці компанії надають послуги з моніторингу дорожнього руху. Однак також вони мають певні відмінності:

- **Орієнтація на продукцію.** Pelco фокусується на інтегрованих рішеннях безпеки, пропонуючи камери з розширеними можливостями спостереження. Vizzion спеціалізується на наданні доступу до найбільшої мережі дорожніх камер у світі, приділяючи особливу увагу охопленню та доступності даних. Avigilon пропонує системи відеоспостереження високої чіткості з сильним акцентом на технології штучного інтелекту для відеоаналітики.

- **Технологічна інтеграція.** Pelco і Avigilon широко використовують штучний інтелект для аналізу в реальному часі і підтримки прийняття рішень в своїх системах управління дорожнім рухом. Vizzion в основному надає послуги з передачі даних, а не технології безпосереднього управління дорожнім рухом.

Розглянемо переваги та недоліки продуктів цих компаній відносно один одного (табл. 1).

Таблиця 1

#### Переваги та недоліки продукції лідерів систем відеоспостереження за дорожнім рухом

Назва компанії	Переваги	Недоліки
Pelco	Розширена інтеграція з іншими системами безпеки, комплексні можливості спостереження.	Може не спеціалізуватися виключно на управлінні трафіком, що може розмити фокус від специфічних для трафіку рішень.
Vizzion	Широке покриття мережі камер, ідеально підходить для додатків, які потребують широких географічних даних.	Менше уваги приділяється рішенням для прямого управління трафіком і аналітики.
Avigilon	Високоякісна технологія камер з передовою аналітикою штучного інтелекту.	Продукти можуть мати преміальну ціну, що може зробити їх менш доступними для невеликих муніципалітетів або організацій.

Джерело: систематизовано автором на основі власного аналітичного дослідження.

### Методи розпізнавання номерних знаків

Успішне вилучення номерних знаків із зображення/відео спочатку є найбільш важливим і критичним етапом для систем автоматичного розпізнавання номерних знаків. Коефіцієнт вилучення - це відношення кількості успішно вилучених номерів до загальної кількості вхідних зображень або транспортних засобів, виявлених на місці події [12]. Зазвичай на кожній смузі встановлюється одна камера, а деякі сучасні камери можуть підтримувати кілька смуг, враховуючи їхню високу роздільну здатність. Встановлення камер на кілька смуг вимагає декількох зчитувачів для ідентифікації номерних знаків транспортних засобів і більшої кількості обладнання з вищими витратами на обслуговування і підтримку. Сценарії в реальному часі можуть зіткнутися з численними проблемами. Наприклад, камера, встановлена у фіксованому положенні, може отримувати зображення транспортного засобу з нахилом або перекосом. Можливо, що номерний знак закритий брудом, зламаний або розташований в місці, яке не потрапляє в поле зору камери (оскільки різні типи автомобілів мають номерні знаки, прикріплені в різних місцях кузова). Фактори навколишнього середовища, світло, розмиття при русі, віддзеркалення, туман та інші подібні умови ускладнюють ефективне виділення номерного знаку. Алгоритми, що використовують геометричні характеристики для вилучення прямокутних номерів, можуть мати проблеми, якщо на кузові автомобіля є кілька подібних фігур, намальованих/наклеєних поверх кузова. Алгоритми повинні бути надійними, щоб відрізнити номерні знаки від інших об'єктів у кадрі. Дослідники використовували різні ознаки для виділення номерних знаків. Огляд цих алгоритмів виділення ознак представлено далі.

*Метод виділення номерного знаку з використанням інформації про краї [12].* Номерний знак зазвичай має відоме співвідношення сторін і прямокутну форму. У роботі [13] зображення вперше масштабували до фіксованого співвідношення сторін. Автори оцінили та протестували різні алгоритми, запропоновані в попередніх дослідженнях [12, 13], і порівняли результати, застосувавши їх до власного набору даних. Один з методів виділення номерних знаків, який вони оцінили, базується на інформації про вертикальні краї. Він визначає вертикальні краї за допомогою оператора Собела. Номерний знак локалізується шляхом порівняння заданої мінімальної та максимальної довжини з довжиною вилучених країв і видалення непотрібних. Загальний рівень вилучення зображення становить в середньому 65,25%, що нижче, ніж 99,99%, про які повідомлялося в [14]. У [15] для виділення номерних знаків використовується інформація про вертикальну та горизонтальну гістограму країв. Тестування 50 зображень з різними шрифтами та умовами освітлення показало, що точність виділення становить 90%.

Алгоритми виявлення країв зазвичай використовуються для виділення номерних знаків шляхом знаходження всіх прямокутників на отриманих зображеннях [16]. Здебільшого кузов автомобіля та область номерного знаку мають чіткий перехід кольорів. Диференціація між ними здійснюється шляхом ідентифікації країв за допомогою фільтрів або алгоритмів виявлення країв. Фільтр Собела був використаний для успішного виділення країв, як представлено в [13, 14]. Виявлення країв відбувається шляхом вертикального виявлення країв для виділення вертикальних ліній і горизонтального виявлення країв для отримання горизонтальних ліній або одночасного використання обох методів для виділення повної прямокутної форми. Номерний знак можна виявити за допомогою геометричних атрибутів, визначивши місцезнаходження ліній прямокутника. У [17] порівнюються різні фільтри виявлення країв Собела, Канні, Габора та фільтри Лога-Габора для систем автоматичного розпізнавання номерних знаків.

Фільтри Габора вважаються найкращим вибором для розпізнавання структур, оскільки вони показують винятково хороші результати для виключення шуму/завад при збереженні країв [18].

Алгоритм виявлення вертикальних країв вважається найнадійнішим алгоритмом виявлення країв, запропонованим для виділення номерних знаків у [19]. Швидкість виділення для 50 зображень за різних умов освітлення становить 96%. Горизонтальні краї можуть призвести до можливих помилок. Ці помилки виникають в основному через бампер автомобіля [20].

*Виділення номерного знаку з використанням глобальної інформації про зображення [12].* При обробці бінарних зображень зображення сканується і його пікселі розбиваються на компоненти на основі зв'язності пікселів за допомогою методу аналізу зв'язаних компонентів [21, 22]. У роботах [23, 24] для виділення номерного знаку використовуються просторові виміри, якими зазвичай є співвідношення сторін та площа.

Слімані та ін. [25] запропонували двоетапний метод для виділення номерних знаків. Щоб впоратися з різними умовами освітлення, на першому кроці використовується пороговий метод Оцу, який є ефективним і простим методом для адаптивних методів порогової обробки. Потім бінаризоване зображення виявляється на предмет наявності на ньому прямокутних форм за допомогою методу аналізу зв'язаних компонентів. Другий крок, який застосовується до отриманого номерного знаку, полягає у виявленні країв з подальшим використанням методу замкнутих кривих, щоб переконатися, що згенероване зображення є номерним знаком. Понад 2500 зображень американського формату з відеопослідовностей було протестовано за допомогою цього методу з успішністю 96%. Метод аналізу зв'язаних компонентів, використаний в [26], показав успішність вилучення 96,6% на відео низької якості тривалістю понад чотири години. Методи виявлення контурів використовуються на бінарних зображеннях для пошуку пов'язаних об'єктів [27]. Для подальшої обробки обираються геометричні об'єкти, що мають схожість з номерним знаком. Однак цей алгоритм може призвести до помилок спотворення, якщо отримане зображення має низьку якість.

Для цієї ж задачі використовується крос-кореляція. Для виділення області номерного знаку використовується попередньо збережений шаблон номерного знаку при виконанні 2D крос-кореляції, що робить її незалежною від його положення на зображенні. Однак цей метод вважається трудомістким.

*Екстракція номерного знаку з використанням кольірних характеристик [12].* Номерні знаки транспортних засобів можуть бути специфічними за кольором для деяких регіонів або країн. Було проаналізовано роботи, в яких тестували системи автоматичного розпізнавання номерних знаків на виділення номерних знаків із зображення за кольором.

Загальний підхід до екстракції номерних знаків передбачає ідею поєднання кольорів номерних знаків. Крім того, характеристики є унікальними, і такі кольорові контрасти мають місце виключно в області номерного знаку. Ши та ін. [28] запропонували методику для специфічних патернів китайських номерних знаків. У їхній методиці використовувалися всі пікселі з отриманого зображення, які потім групувалися за відтінком, світлістю та насиченістю (HLS). Колірна модель HLS класифікує пікселі на 13 кольірних категорій замість 6 поділів RGB. Замість градацій сірого було використано кольорову модель. Вибір кольорових поділок зроблено відповідно до форматів номерних знаків на материковому Китаї. В їхньому експерименті 90% всіх зображень були правильно розпізнані при різному освітленні.

У [29] розпізнавання тільки певних кольорів, включаючи чорний, зелений, білий і червоний, використовуються в номерних знаках, кольорові детектори країв працюють тільки з трьома типами кольорових країв включаючи червоно-білі, чорно-білі та зелено-білі комбінації. Під час експериментів за різних умов було проаналізовано близько 1088 зображень з різних сценаріїв. Рівень локалізації номерного знаку становить 97,9%. У роботі для класифікації кольору кожного пікселя використовується нейронна мережа після перетворення істинного кольорового зображення в колірну модель відтінку, насиченості, освітленості (HLS). Щоб виявити область з найбільшою щільністю кольору, однакова комбінація кольорів проектується як по горизонталі, так і по вертикалі на номерний знак. Для створення зображення краю в [21] використовується комбінація кольору символів та кольору номерного знаку. Сформоване зображення потім сканується по горизонталі. Якщо існує будь-який піксель, що має значення в межах діапазону кольору номерного знаку, досліджується діапазон кольорів його горизонтальних сусідів. Якщо мінімум два або більше двох горизонтальних сусідів належать до одного діапазону, то цей піксель називається крайнім пікселем. Зрештою, у новому зображенні країв аналізуються всі краї, що робиться для визначення кольору в області пластин.

Для вирішення проблем, пов'язаних з різним освітленням, у [22] розроблено алгоритм, заснований на нечіткій логіці. У процесі використовується кольірний простір HSV. У нечітких множинах всі компоненти HSV спочатку відображаються у вигляді різних функцій належності. Потім нечітка класифікаційна функція демонструється шляхом злиття всіх трьох компонентів HSV на основі зважених ступенів належності. Для тестування ефективності було обрано три різні набори зображень. У [23] для визначення регіонів-кандидатів статистичний поріг вибирається за прийнятою кольірною моделлю HSI, де HSI – це відтінок, насиченість та інтенсивність. Ця методика може бути використана для виявлення регіонів-кандидатів за умови, що номерні знаки та кузови автомобілів/транспортних засобів мають однаковий колір. Стандартне відхилення та середнє значення відтінку застосовуються для виявлення жовтих та зелених пікселів номерного знаку. Інтенсивність та насиченість HSI використовуються для виділення білих, зелених та жовтих пікселів номерного знаку з відповідних зображень транспортних засобів.

Перевагою методу екстракції номерних знаків є використання кольорової інформації. Тобто, ви можете визначити номерні знаки, які деформовані або нахилені. Однак у цього методу є й певні недоліки. Складно визначити колір пікселя, використовуючи значення RGB, особливо за специфічних умов освітлення. Колірна модель HLS, яка використовується як заміник, є досить чутливою до шуму. Методи, які працюють на кольоровій проекції, мають справу з недоліком неправильного виявлення частин зображення, які мають такий самий колір на номерному знаку, як і кузов автомобіля.

*Виділення номерного знаку з використанням властивостей текстури [12].* Ці методи залежать від символів у зоні номерного знаку. У роботі [30] для виділення номерних знаків використовуються локальний бінарний шаблон (Local Binary Pattern, LBP) [24] та гистограма орієнтованих градієнтів (Hog - Oriented Gradients) [31]. Враховуючи прямокутну форму номерного знаку, для класифікації текстури та обчислення гистограми за HOG використовується алгоритм LBP. Точність визначення місцезнаходження 110 зображень становить 89,7%. Однак ця методика не підходить для зображень з розмиттям або в умовах низької освітленості, а також для зображень з різною орієнтацією ракурсу.

Ще одним методом виявлення пластин є використання карти щільності лінійної ваги. У роботах [21, 32-34] використовується метод лінійного сканування, де піки формуються від переходу кольору рівня сірої шкали, що відповідає кількості символів на номерному знаку. Експериментальні результати методу горизонтального лінійного сканування з декількома пороговими значеннями для виявлення номерів у реальному часі на складних зображеннях порівнювалися з традиційною моделлю на основі перетворень Хафа з низькою точністю виявлення 69,8% і довшим часом обробки 8-10 с. При використанні методу лінійного сканування було досягнуто 99,2% вилучення з використанням методу лінійного сканування. Час виконання для визначення місцезнаходження пластини було неймовірно скорочено до 0,3-0,5 с порівняно з іншими методами.

Проведемо аналіз слабких і сильних сторін цих методів (табл. 2).

## Порівняння методів ідентифікації номерних знаків

Назва методу	Сильні сторони	Слабкі сторони
Метод виділення номерного знаку з використанням інформації про краї	Висока точність виявлення номерних знаків на зображеннях з високим контрастом між знаком та фоном.	Низька ефективність у погано освітлених умовах або при низькій контрастності зображення.
	Ефективність у визначенні прямокутних форм завдяки використанню оператора Собела для виявлення країв.	Обмежена ефективність при виявленні знаків, які частково закриті або перекриті іншими об'єктами.
Виділення номерного знаку з використанням глобальної інформації про зображення	Здатність інтегрувати інформацію з широкої області зображення, що підвищує точність локалізації.	Вразливість до помилок через зміни в освітленості та інші зовнішні впливи.
	Ефективність у розпізнаванні знаків на складних фонах завдяки аналізу зв'язаних компонент.	Висока обчислювальна складність, що може знижувати швидкість обробки зображень.
Екстракція номерного знаку з використанням кольорних характеристик	Висока точність у виявленні номерних знаків специфічного кольору, що дозволяє ефективно фільтрувати не відповідні об'єкти.	Обмеженість у використанні в умовах, де кольори номерних знаків мають широкий діапазон або схожі з фоном.
	Здатність адаптуватися до регіональних особливостей номерних знаків, які можуть відрізнятися за кольором.	Залежність від якості зображення та освітлення, що може впливати на кольорну перцепцію.
Виділення номерного знаку з використанням властивостей текстури	Ефективне виявлення номерних знаків за допомогою аналізу текстурних відмінностей між знаком та фоном.	Висока обчислювальна складність при використанні складних текстурних фільтрів.
	Висока точність у виявленні знаків навіть на зображеннях зі складними текстурними властивостями.	Обмежена ефективність у низьких рівнях освітленості або при зображеннях з високим рівнем шуму.

Джерело: розроблено автором.

Як видно із табл. 2, кожен метод має свої переваги: один краще обробляє широкоформатні знімки, інші вміють виділяти номерний знак з різним рівнем контрасту між фоном та номерним знаком. Водночас всі ці методи можуть давати низькі результати при роботі з знімками, зробленими в умовах поганого освітлення.

### Висновки

Історичний огляд контролю дорожнього руху виявляє його значний розвиток від ручного управління до автоматизованих систем, що використовують передові технології аналізу та обробки даних. Початкові методики, такі як звичайні дорожні знаки та ручне регулювання, поступово доповнювались та замінювались автоматизованими системами, зокрема, світлофорами та камерами спостереження, які забезпечують значно більш ефективно та безпечно управління рухом.

З появою комп'ютерних технологій та впровадженням систем відеоспостереження, здатних розпізнавати номерні знаки, аналізувати типи транспортних засобів та їхню поведінку на дорозі, відкрились нові можливості для збору та аналізу великих обсягів даних. Це, в свою чергу, дозволило не тільки виявляти порушення правил дорожнього руху, а й аналізувати трафік для оптимізації дорожнього руху та планування інфраструктурних проектів.

Сучасні дослідження в області контролю дорожнього руху використовують різноманітні методики, кожна з яких має свої сильні та слабкі сторони. Наприклад, методи, що базуються на використанні кольорних характеристик та текстурних властивостей, дозволяють точно ідентифікувати транспортні засоби навіть у складних умовах. Однак, їх ефективність може знижуватися при низькій освітленості або високому рівні зовнішніх завад. Технології, які аналізують геометричні параметри або використовують алгоритми

машинного навчання, з одного боку, показують високу точність, але з іншого - вимагають значних обчислювальних ресурсів.

### Перспективи подальших досліджень

У подальших дослідженнях ця інформація буде використана для більш глибокого аналізу специфічних питань руху автомобілів та громадського транспорту, зокрема, для розробки нових алгоритмів оптимізації трафіку та підвищення ефективності використання дорожньої інфраструктури. Враховуючи постійний розвиток технологій та зростаючі вимоги до екологічності та безпеки транспортних систем, актуальність таких досліджень лише збільшується.

### Література

1. Нельсон, М., (2018, травень), «Коротка історія світлофора»: Смітсонівський журнал. <https://www.smithsonianmag.com/innovation/brief-history-stoplight-180968734/>
2. Рейд Р. (3 березня 2021 р.), «Сучасні кругові перехрестя підвищують ефективність і безпеку руху», ASCE. Американське товариство інженерів-будівельників. <https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/issues/magazine-issue/article/2021/03/modern-roundabouts-boost-traffic-safety-і-ефективність>
3. Кумар П., Ранганатх С., Веймін Х. та Сенгупта К. (2005). Структура для інтерпретації поведінки в реальному часі з відео дорожнього руху. Інтелектуальні транспортні системи, IEEE Transactions on, 6, 43-53. <https://doi.org/10.1109/TITS.2004.838219>
4. Леонтіадіс, І., Марфія, Г., Мак, Д., Пау, Г., Масколо, К., і Герла, М. (2012, грудень). Про ефективність опортуністичної системи управління трафіком для автомобільних мереж. Інтелектуальні транспортні системи, IEEE Transactions on, 12, 1537-1548. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2161469>.
5. Гупта, П., і Пурохіт, Г. (2012). Розрахунок оптимальної кількості камер відеоспостереження для системи контролю світлофорів у режимі реального часу. <https://doi.org/10.1109/PDGC.2012.6449826>.
6. Кунсе, П., Бертіні, Р., Монсере, К., Ін, Т. (2005, квітень). Переваги технологій інтелектуальних транспортних систем у містах: огляд літератури. Портлендський державний університет, Центр транспортних досліджень, звіт про дослідження.
7. Конче М. Тайт М.. (2006, 1 грудня). Використання відеоспостереження для визначення факторів ДТП у містах. нещасний випадок; Аналіз і запобігання, 38, 1197-1207. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.05.008>
8. Піза, Е., Каплан, Дж., Кеннеді, Л. (2014). Покарання певніше? Аналіз виявлення та застосування засобів відеоспостереження. Justice Quarterly, 31. <https://doi.org/10.1080/07418825.2012.723034>
9. Лотарингія Г. та Насеродіен Ф. (2003, серпень). Оцінка замкнутого телевізійного спостереження з посиленням на проект Venoni (Окремий документ № 1). Уряд Південної Африки.
10. Курді Х. (2014, 30 квітня). Огляд методів замкнутого телебачення (CCTV) для управління рухом транспортних засобів. Міжнародний журнал комп'ютерних наук та інформаційних технологій, 6, 199-206. <https://doi.org/10.5121/ijcsit.2014.6216>
11. Кортні, М. (2011). Очі громадськості стають розумнішими. Техніка та технології, 6, 38-41.
12. Лубна, Муфтії, Н., і Шах, С. (2021, 26 квітня). Автоматичне розпізнавання номерних знаків: детальний огляд відповідних алгоритмів. Sensors, 21, 3028. <https://doi.org/10.3390/s21093028>
13. Ахмад І., Буфама Б., Хабаші П., Андерсон В. та Еламсі Т. (2015, 1 грудня). Автоматичне розпізнавання номерних знаків: порівняльне дослідження. <https://doi.org/10.1109/ISSPIT.2015.7394415>
14. Женг Д. Д. Зао. Ванг Ж. (2005, 1 листопада). Ефективний спосіб визначення номерного знака. Листи розпізнавання образів, 26, 2431-2438. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.04.014>
15. Хайдер, С. А., і Хуршид, К. (2017, 6 квітня). Впроваджена система виявлення та розпізнавання номерних знаків у Пакистані. <https://doi.org/10.1109/ICIEEST.2017.7916553>
16. Гоммонс О. (2016, 1 березня). HD Катарська система ANPR. У матеріалах конференції IEEE з комп'ютерних систем і промислової інформатики (стор. 1-5). <https://doi.org/10.1109/ICCSII.2016.7462420>
17. Лубна, Хан, М., і Муфтії, Н. (2016, 1 серпня). Порівняння різних фільтрів виявлення країв для ANPR. У матеріалах Міжнародної конференції IEEE з інтелектуальних методів управління, оптимізації та обробки сигналів (стор. 306-309). <https://doi.org/10.1109/INTECH.2016.7845061>
18. Печімил В. Ренж. (2017, 1 березня). Ефективний підхід до системи автоматичного розпізнавання номерних знаків. У матеріалах Міжнародної конференції IEEE з науки, технологій, техніки та менеджменту (стор. 121-129). <https://doi.org/10.1109/ICONSTEM.2017.8261267>
19. Дев, А. (2015, 1 вересня). Новий підхід для виявлення автомобільних номерних знаків на основі вертикальних країв. У матеріалах Міжнародної конференції IEEE з передових обчислювальних і комунікаційних систем (стор. 391-394). <https://doi.org/10.1109/ICACC.2015.62>
20. Ванг С. Лі. (2003, 12 листопада). Виявлення та розпізнавання символів номерних знаків різної зовнішності. У матеріалах конференції IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (том 2, стор. 979-984). <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1252632>
21. Ян Ю.-К., Бай Дж., Тянь Р.-Л. та Лю Н. (2005, 18 вересня). Система розпізнавання номерних знаків транспортних засобів на основі фіксованого сполучення кольорів. У матеріалах Міжнародної



- конференції IEEE з машинного навчання та кібернетики (том 9, стор. 5394-5397). <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2005.1527897>
22. Ван Ф., Ман Л., Ван Б., Сяо Ю., Пан В. та Лу Х. (2008, 1 травня). Нечіткий алгоритм розпізнавання кольорів номерних знаків. Листи розпізнавання образів, 29, 1007-1020. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.01.026>
23. Деб К. та Джо К.-Х. (2009, 5 листопада). Метод виявлення номерних знаків транспортних засобів для додатків інтелектуальної транспортної системи. Кібернетика та системи, 40, 689-705. <https://doi.org/10.1080/01969720903294601>
24. Хуан Д., Шан К., Ардабіліан М. та Чен Л. (2011, 1 листопада). Локальні бінарні моделі та їх застосування до аналізу зображень обличчя: опитування. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C, 41, 765-781. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2011.2118750>
25. Слімані І., Зааране А., Хамдун А. та Атуф І. (2019 р., 1 квітня). Система локалізації та розпізнавання номерних знаків транспортних засобів для інтелектуальних транспортних додатків. У матеріалах Міжнародної конференції з управління, прийняття рішень та інформаційних технологій (стор. 1592-1597). <https://doi.org/10.1109/CoDIT.2019.8820446>
26. Ву Х.-Х., Чень Х.-Х., Ву Р.-Дж. та Шен Д.-Ф. (2006, 20-24 серпня). Видалення номерних знаків у відео з низькою роздільною здатністю. У матеріалах 18-ї міжнародної конференції з розпізнавання образів (том 1, стор. 824-827). <https://doi.org/10.1109/ICPR.2006.761>
27. Часон, М., & S, А. (2003, 20 серпня). Розташування номерних знаків на основі динамічної схеми PCNN. У матеріалах Міжнародної спільної конференції з нейронних мереж (том 2, стор. 1195-1200). <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2003.1223862>
28. Ши, Х., Чжао, В., і Шен, Ю. (2005, 9 травня). Система автоматичного розпізнавання номерних знаків на основі обробки кольорового зображення. У конспектах лекцій з інформатики (том 3483, стор. 1159-1168). [https://doi.org/10.1007/11424925\\_121](https://doi.org/10.1007/11424925_121)
29. Шанг Л., Шанг С. (2004, 1 квітня). Автоматичне розпізнавання номерних знаків. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 5, 42-53. <https://doi.org/10.1109/TITS.2004.82508>
30. Стефл Р. Йоізі І. (2019, 1 червня). Автоматичне розпізнавання номерних знаків для інтелектуального сервісного автомобіля. У матеріалах Міжнародної конференції IEEE з нових технологій і автоматизації виробництва (стор. 57-60). <https://doi.org/10.1109/EMES.2019.87952>
31. Тео С. Враун І. (2015, 1 листопада). Оцінка продуктивності функцій HOG і Gabor для візуального виявлення транспортних засобів. У матеріалах Міжнародної конференції IEEE з систем управління, обчислювальної техніки та техніки (стор. 66-71). <https://doi.org/10.1109/ICCSCE.2015.7482159>
32. Анагностопулос К.-Н., Александропулос Т., Бутас С., Лумос В. та Каяфас Е. (2005, 15 жовтня). Шаблонний підхід до спостереження за транспортними засобами та контролю доступу. У матеріалах Міжнародної конференції IEEE з передового відеоспостереження та відеоспостереження на основі сигналу - AVSS 2005 (стор. 534-539). <https://doi.org/10.1109/AVSS.2005.1577325>
33. Се К.-Т., Хуан Ю.-С. та Хунг К.-М. (2005, 28 квітня). Виявлення кількох номерних знаків для складного фону. У матеріалах 19-ї міжнародної конференції з передових інформаційних мереж і додатків - AINA 2005 (том 2, стор. 389-392). <https://doi.org/10.1109/AINA.2005.257>
34. Санкарі, М., Бремнант, Р., Міна, К. (2013). Надійна розбіжна локалізація та розпізнавання реєстраційних символів ліцензії. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 6, 1225-1232

## References

1. Nelson, M., (2018, May), "A Brief History of the Stoplight": Smithsonian Magazine. <https://www.smithsonianmag.com/innovation/brief-history-stoplight-180968734/>
2. Reid, R., (2021, March 3), "Modern Roundabouts Boost Traffic Efficiency and Safety", ASCE. American Society Of Civil Engineers. <https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/issues/magazine-issue/article/2021/03/modern-roundabouts-boost-traffic-safety-and-efficiency>
3. Kumar, P., Ranganath, S., Weimin, H., & Sengupta, K. (2005). Framework for real-time behavior interpretation from traffic video. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 6, 43-53. <https://doi.org/10.1109/TITS.2004.838219>
4. Leontiadis, I., Marfia, G., Mack, D., Pau, G., Mascolo, C., & Gerla, M. (2012, December). On the effectiveness of an opportunistic traffic management system for vehicular networks. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 12, 1537-1548. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2161469>
5. Gupta, P., & Purohit, G. (2012). *Computing optimum number of CCTV cameras for real-time traffic signal control system*. <https://doi.org/10.1109/PDGC.2012.6449826>
6. Koonce, P., Bertini, R., Monsere, C., & Yin, T. (2005, April). Benefits of intelligent transportation systems technologies in urban areas: A literature review. *Portland State University, Center for Transportation Studies, Research Report*.
7. Conche, F., & Tight, M. (2006, December 1). Use of CCTV to determine road accident factors in urban areas. *Accident; Analysis and Prevention*, 38, 1197-1207. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.05.008>
8. Piza, E., Caplan, J., & Kennedy, L. (2014). Is the punishment more certain? An analysis of CCTV detections and enforcement. *Justice Quarterly*, 31. <https://doi.org/10.1080/07418825.2012.723034>
9. Lorraine, G., & Nacerodien, F. (2003, August). An assessment of closed circuit television surveillance with reference to the Benoni project (Occasional Paper No. 1). *Government of South Africa*.
10. Kurdi, H. (2014, April 30). Review of closed circuit television (CCTV) techniques for vehicles traffic management. *International Journal of Computer Science and Information Technology*, 6, 199-206. <https://doi.org/10.5121/ijcsit.2014.6216>
11. Courtney, M. (2011). Public eyes get smart. *Engineering & Technology*, 6, 38-41.

12. Lubna, Mufti, N., & Shah, S. (2021, April 26). Automatic number plate recognition: A detailed survey of relevant algorithms. *Sensors*, 21, 3028. <https://doi.org/10.3390/s21093028>
13. Ahmad, I., Boufama, B., Habashi, P., Anderson, W., & Elamsy, T. (2015, December 1). *Automatic license plate recognition: A comparative study*. <https://doi.org/10.1109/ISSPIT.2015.7394415>
14. Zheng, D., Zhao, Y., & Wang, J. (2005, November 1). An efficient method of license plate location. *Pattern Recognition Letters*, 26, 2431-2438. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.04.014>
15. Haider, S. A., & Khurshid, K. (2017, April 6). An implementable system for detection and recognition of license plates in Pakistan. <https://doi.org/10.1109/ICIEECT.2017.7916553>
16. Hommos, O., Al-Qahtani, A., Farhat, A., Bensaali, F., Amira, A., & Zhai, X. (2016, March 1). HD Qatari ANPR system. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Systems and Industrial Informatics* (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1109/ICCSII.2016.7462420>
17. Lubna, Khan, M., & Mufti, N. (2016, August 1). Comparison of various edge detection filters for ANPR. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing* (pp. 306-309). <https://doi.org/10.1109/INTECH.2016.7845061>
18. Pechiammal, B., & Renjith, J. (2017, March 1). An efficient approach for automatic license plate recognition system. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Science, Technology, Engineering and Management* (pp. 121-129). <https://doi.org/10.1109/ICONSTEM.2017.8261267>
19. Dev, A. (2015, September 1). A novel approach for car license plate detection based on vertical edges. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Computing and Communication Systems* (pp. 391-394). <https://doi.org/10.1109/ICACC.2015.62>
20. Wang, S.-Z., & Lee, H.-J. (2003, November 12). Detection and recognition of license plate characters with different appearances. In *Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference* (Vol. 2, pp. 979-984). <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1252632>
21. Yang, Y.-Q., Bai, J., Tian, R.-L., & Liu, N. (2005, September 18). A vehicle license plate recognition system based on fixed color collocation. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics* (Vol. 9, pp. 5394-5397). <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2005.1527897>
22. Wang, F., Man, L., Wang, B., Xiao, Y., Pan, W., & Lu, X. (2008, May 1). Fuzzy-based algorithm for color recognition of license plates. *Pattern Recognition Letters*, 29, 1007-1020. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.01.026>
23. Deb, K., & Jo, K.-H. (2009, November 5). A vehicle license plate detection method for intelligent transportation system applications. *Cybernetics and Systems*, 40, 689-705. <https://doi.org/10.1080/01969720903294601>
24. Huang, D., Shan, C., Ardabilian, M., & Chen, L. (2011, November 1). Local binary patterns and its application to facial image analysis: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, 41, 765-781. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2011.2118750>
25. Slimani, I., Zaarane, A., Hamdoun, A., & Atouf, I. (2019, April 1). Vehicle license plate localization and recognition system for intelligent transportation applications. In *Proceedings of the International Conference on Control, Decision and Information Technologies* (pp. 1592-1597). <https://doi.org/10.1109/CoDIT.2019.8820446>
26. Wu, H.-H., Chen, H.-H., Wu, R.-J., & Shen, D.-F. (2006, August 20-24). License plate extraction in low resolution video. In *Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition* (Vol. 1, pp. 824-827). <https://doi.org/10.1109/ICPR.2006.761>
27. Chacon, M., & S, A. (2003, August 20). License plate location based on a dynamic PCNN scheme. In *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks* (Vol. 2, pp. 1195-1200). <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2003.1223862>
28. Shi, X., Zhao, W., & Shen, Y. (2005, May 9). Automatic license plate recognition system based on color image processing. In *Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 3483, pp. 1159-1168). [https://doi.org/10.1007/11424925\\_121](https://doi.org/10.1007/11424925_121)
29. Chang, S.-L., Chen, L.-S., Chung, Y.-C., & Chen, S.-W. (2004, April 1). Automatic license plate recognition. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 5, 42-53. <https://doi.org/10.1109/TITS.2004.825086>
30. Sferle, R., & Moisi, E. (2019, June 1). Automatic number plate recognition for a smart service auto. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation* (pp. 57-60). <https://doi.org/10.1109/EMES.2019.879520>
31. Teoh, S. S., & Braunl, T. (2015, November 1). Performance evaluation of HOG and Gabor features for vision-based vehicle detection. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering* (pp. 66-71). <https://doi.org/10.1109/ICCSCE.2015.7482159>
32. Anagnostopoulos, C.-N., Alexandropoulos, T., Boutas, S., Loumos, V., & Kayafas, E. (2005, October 15). A template-guided approach to vehicle surveillance and access control. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance - AVSS 2005* (pp. 534-539). <https://doi.org/10.1109/AVSS.2005.1577325>
33. Hsieh, C.-T., Juan, Y.-S., & Hung, K.-M. (2005, April 28). Multiple license plate detection for complex background. In *Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications - AINA 2005* (Vol. 2, pp. 389-392). <https://doi.org/10.1109/AINA.2005.257>
34. Sankari, M., Bremananth, R., & Meena, C. (2013). A robust diverged localization and recognition of license registration characters. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6, 1225-1232