

---

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt216.02.026>

**ВОЛОШЕНЮК Д.О.**, канд.техн.наук, старш. дослідник,  
зав. наук.-досл. лаб. безпілотних комплексів і систем  
<https://orcid.org/0000-0003-3793-7801>, e-mail: p-h-o-e-n-i-x@ukr.net

**ТИМЧИШИН Р.М.**, аспірант,  
наук. співроб. наук.-досл. лаб. безпілотних комплексів і систем  
<https://orcid.org/0000-0002-4243-4240>, e-mail: romantymchyshyn.rt@gmail.com

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій  
та систем НАН України та МОН України,  
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна

## **МЕТОД ВИДІЛЕННЯ КОНТУРІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

---

***Вступ.** Останнім часом технології моніторингу стану транспортної інфраструктури швидко розвиваються, вбираючи в себе все нові інновації та враховуючи розвиток наявних підходів. Головним напрямом розвитку та використання технологій є забезпечення постійного контролю за різними аспектами транспортної інфраструктури з метою підвищення рівня безпеки, її ефективності та оптимізації функціонування. Моніторинг дає змогу усім зацікавленим сторонам ефективно аналізувати та управляти транспортною інфраструктурою.*

***Мета статті.** Швидкі та точні системи моніторингу дозволяють швидко реагувати та мінімізувати негативні наслідки для громадян. Незважаючи на активний розвиток алгоритмів комп'ютерного зору, не існує універсального алгоритму, який підходив би для всіх сценаріїв. Методи залежать від завдання, умов та навіть траєкторії БПЛА; навіть незначна зміна візуальної сцени може призвести до субоптимальних результатів. Останнім часом досягнуто значного прогресу у розробці алгоритмів виявлення контурів. Проте вони не враховують специфіку завдання моніторингу транспортної інфраструктури, зокрема стану дорожньої розмітки. Метод має враховувати характеристики об'єктів інтересу – їхні геометричні та колірні особливості, а також наявність багатьох інших об'єктів на зображеннях. Метою цієї роботи є представлення методу, розробленого спеціально для завдання моніторингу транспортної інфраструктури.*

***Методи.** Комп'ютерний зір, порогова фільтрація, оператор Собеля, видалення шуму, імовірнісне перетворення Хафа, гістограми.*

***Результати.** Визначено основні особливості завдання моніторингу транспортної інфраструктури за допомогою візуальних даних, отриманих з камер спостереження або безпілотних літальних апаратів. Розроблено алгоритм виділення меж кластерів точок з використанням гістограм. Розроблено метод виявлення*

© ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

контурів на зображеннях, який усуває недоліки відомих методів і спеціально вдосконалений для моніторингу транспортної інфраструктури. Метод використовує вузьку спеціалізацію завдання для покращення отриманих результатів. Основою методу є особливості кольорової моделі HSL, фільтрація в каналах насиченості та світлості з використанням градієнтів, отриманих за допомогою оператора Собеля, знаходження сегментів на основі імовірного перетворення Хафа та зазначений алгоритм виділення меж кластерів точок.

**Висновки.** Запропонований метод може бути використаний в автоматизованих та напіваавтоматизованих системах прийняття рішень, конструкторських бюро БПЛА, підприємствах з виробництва БПЛА та інформаційно-аналітичних центрах для розробки безпілотних авіаційних систем і технологій повітряного моніторингу з метою підвищення безпеки громадян та економічного розвитку держави. Використання методів автоматичної обробки даних дистанційного моніторингу дозволяє швидше отримувати необхідні результати та покращує ефективність використання геопросторових даних.

**Ключові слова:** комп'ютерний зір, виявлення об'єктів, виділення контурів, фільтрація зображень, транспортна інфраструктура, інформаційні технології, моніторинг.

## **ВСТУП**

Останнім часом технології моніторингу стану транспортної інфраструктури швидко розвиваються, вбираючи в себе все нові інновації та враховуючи розвиток наявних підходів. Головним напрямом розвитку та використання технології є забезпечення постійного контролю за різними аспектами транспортної інфраструктури з метою підвищення рівня безпеки, її ефективності та оптимізації функціонування. Моніторинг дає змогу усім зацікавленим сторонам ефективно аналізувати та управляти транспортною інфраструктурою.

Системи комп'ютерного зору (СКЗ) на сьогодні є одним з основних засобів розвитку систем повітряного моніторингу, коли для вирішення поставлених завдань необхідно аналізувати зовнішню обстановку в режимі реального часу. СКЗ застосовують в сучасних космічних, авіаційних, наземних, надводних і підводних апаратах. Внаслідок значного рівня розвитку засобів фіксації оптичного випромінення, СКЗ можуть слугувати незамінними джерелами інформації в разі автоматичного вирішення завдань виявлення об'єктів, їх розпізнавання та навігації безпілотних літальних апаратів (БпЛА).

Комп'ютерний зір охоплює широкий спектр різнопланових задач: фільтрації, сегментації, класифікації, виявлення об'єктів та спостереження за ними, оцінювання положення об'єкта, реконструкції сцени, відеоспостереження та багато інших. Розвиток штучного інтелекту та інформаційних технологій важко уявити без використання алгоритмів комп'ютерного зору.

Такий метод отримання інформації, як аерофотознімання з БпЛА, є економічно найвигіднішим, дистанційним та ефективним способом забезпечення споживачів необхідною інформацією про будь-який об'єкт інтересу на поверхні [1][2].

Зокрема, є ряд завдань, для вирішення яких необхідний аналіз отриманої геопросторової інформації, яка ідентифікує географічне розташування та різні властивості (форму, колір, текстуру тощо)

природних або штучно створених об'єктів, а також їх кордонів на землі. Цю інформацію може бути отримано з допомогою дистанційного зондування, картографування та різних видів аерознімання. Такими завданнями можуть бути оперативні завдання, що їх вирішують з допомогою застосування БпЛА, наприклад, для моніторингу (оцінювання та аналізування) стану транспортної інфраструктури (якості дорожнього покриття та розмітки тощо).

## **ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ**

Незважаючи на активне обговорення питань застосування СКЗ для розширення спектру задач, які вирішують з допомогою БпЛА, все ще немає універсальних алгоритмів для зорового спостереження, навігації та розпізнавання. Для кожного завдання СКЗ і в кожній конкретній ситуації фотометричних і траєкторних умов оптимальним є лише якийсь конкретний алгоритм, причому навіть незначна зміна оброблюваної зорової сцени може потребувати зміни застосовуваного алгоритму перетворення фотометричного сигналу.

Однією з задач моніторингу транспортної інфраструктури є спостереження за станом дорожнього покриття та розмітки. Швидкі та точні системи моніторингу дають змогу управлінцям швидко реагувати на непередбачувані ситуації та мінімізувати негативні наслідки для користувачів доріг.

Останнім часом було досягнуто значного прогресу в розробленні алгоритмів виділення контурів, проте вони не враховують особливостей задачі моніторингу стану дорожньої розмітки. Алгоритм повинен брати до уваги особливості об'єктів інтересу — їхні геометричні та колірні ознаки, присутність великої кількості інших об'єктів на зображеннях, а також особливості способу отримання візуальної інформації (вона може потребувати додаткового фільтрування у випадку БпЛА).

Виявлення та класифікація локальних структур (наприклад, контурів та країв) в кольорових зображеннях важливі у багатьох сферах, таких як сегментація зображень, зіставлення зображень, розпізнавання об'єктів, візуальне відстеження в областях оброблення зображень і комп'ютерного зору. Більшість зображень, які зараз використовують, є кольоровими. Тому все більшу увагу приділяють використанню інформації про колір для виявлення та класифікації локальних характеристик зображення.

В цій роботі ми наводимо той метод виділення контурів на зображеннях, отриманих з засобів візуального спостереження, який розроблено спеціально для задачі моніторингу стану дорожнього покриття та розмітки. Розроблений метод не є універсальним для будь-якої задачі, але, відповідно до проведених досліджень, для розв'язання задачі виділення контурів дорожньої розмітки на отриманих від БпЛА або дрона зображеннях, розроблений метод є оптимальним, має ряд переваг та усуває недоліки відомих наявних методів.

## **ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Основними завданнями моніторингу є ефективне виявлення певних об'єктів на місцевості, їх класифікації (ідентифікації) в межах встановлених класів і видавання відповідних директив. У зарубіжній літературі ці завдання називають автоматичним виявленням цілей (ATR — Automatic Target Recognition) [3]. На сьогодні дослідження технології ATR проводять переважно з огляду на її застосування в оптико-електронних системах, радіолокаційних системах (РЛС) і мультисенсорних системах з комбінуванням давачів. Саме в цих напрямках зосереджені зусилля наукових лабораторій і промислових фірм. Основну увагу приділяють удосконаленню алгоритмів і давачів.

Практичного застосування набули чотири основні групи алгоритмів розпізнавання цілі [3]:

- алгоритми узгодженої фільтрації з перевіркою збігу, які застосовують шаблони для тих об'єктів, які необхідно виявити;
- алгоритми статистичного розпізнавання образів, які передбачають вибірку зображень об'єктів транспортної інфраструктури з урахуванням конкретних характерних ознак цих об'єктів;
- алгоритми комп'ютерного зору на основі моделей, з допомогою яких порівнюють характерні ознаки об'єкта, за яким ведуть спостереження з моделями цього зображення, які зберігаються в пам'яті обчислювальної машини;
- нейромережеві алгоритми, які передбачають навчання на прикладах штучної нейронної мережі, яка імітує структуру мозку людини.

Ці алгоритми реалізовано в численних бібліотеках коду, таких як OpenCV, Matrox Imaging Library, Camellia Library, Open eVision, HALCON, VXL, libCVD, IVT, LTI, AForge.NET та багато інших.

Порівняно з іншими бібліотеками комп'ютерного зору, бібліотека OpenCV має значні переваги. Першою та найбільш значною перевагою бібліотеки є її продуктивність. Крім того, застосовуючи додатковий компонент IPP, її можна додатково збільшити. Другою є наявність значної кількості функцій, які вирішують різні завдання: від оброблення зображень, комп'ютерного зору та до машинного навчання. Крім того, бібліотека має відкритий вихідний код і ліцензію, яка дає змогу навіть із застосуванням функціоналу бібліотеки випускати комерційні продукти. Також OpenCV має реалізацію для мобільних платформ, які можуть застосовуватись на борту БпЛІА.

## **МЕТОД ПОШУКУ КОНТУРІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ**

Загальну схему методу подано на рис. 1. Нижче наведено детальний опис всіх кроків.

*Перетворення зображення з RGB в HSL.* Для вирішення завдання виділення контурів та подальших операцій із зображенням розроблений метод перетворює вихідне зображення (рис. 2) з моделі RGB (red-green-blue) у

модель HSL (hue-saturation-lightness). HSL — колірна модель, в якій будь-який колір визначається трьома характеристиками: колірним тоном (Hue), наприклад, синім, червоним, жовтим тощо (значення від 0 до 360); насиченістю (Saturation), тобто частиною чистого кольору, без домішок чорного та білого; близькістю до білого кольору (Lightness), яке перекладають як «легкість», а ми називатимемо в цій роботі «світлістю» [4].

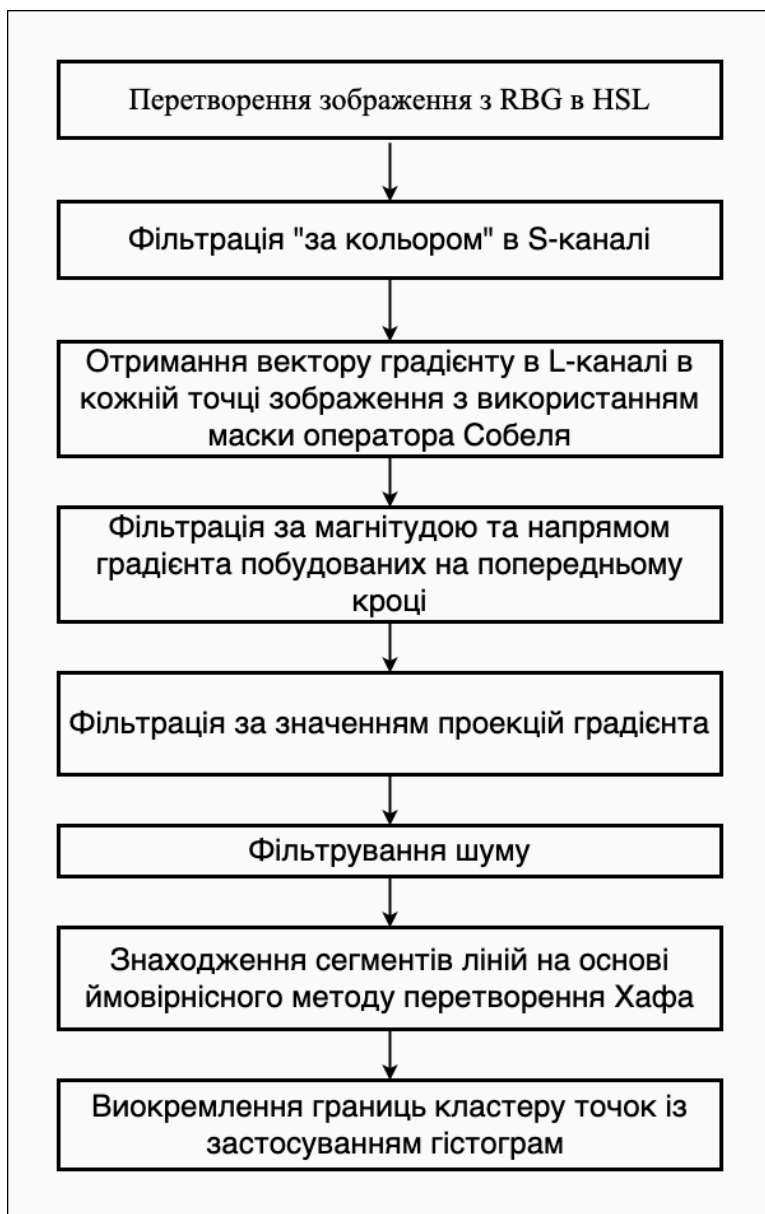


Рис. 1. Загальна схема методу пошуку контурів дорожньої розмітки



Рис. 2. Вихідне зображення

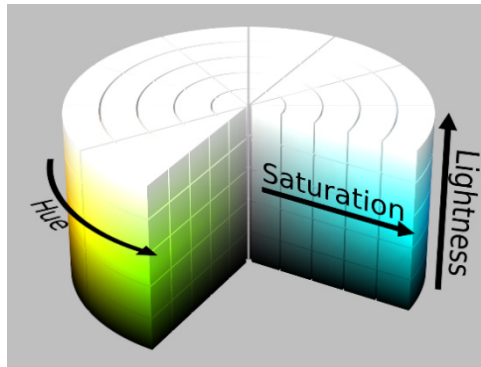


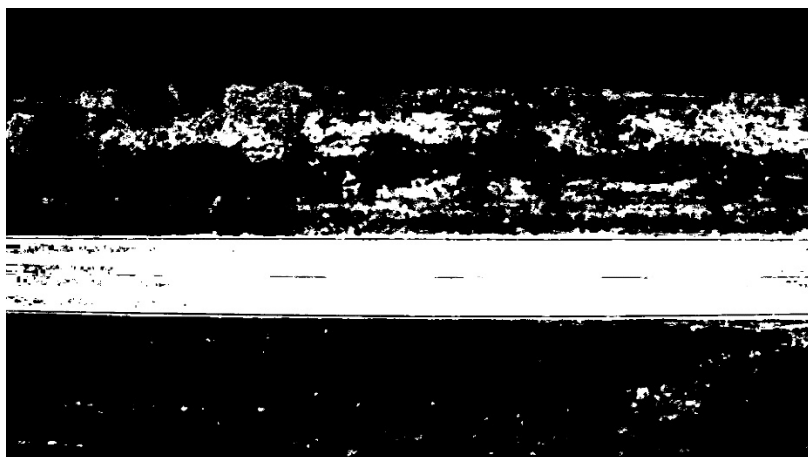
Рис. 3. Колірна модель HSL

У циліндрі колірної моделі HLS (рис. 3) кут навколо центральної вертикальної осі відповідає відтінку (H) основних кольорів: червоного, зеленого, синього; відстань в радіальному напрямку від осі відповідає насиченості (S); і відстань по осі відповідає світлості (L).

Центральна вертикальна вісь світлості містить нейтральні, безбарвні або сірі кольори, в межах від чорного в світлості 0 на основі, до білого в світлості 1 — на вершині.

В подальшому метод проводить процедури фільтрації, які застосовують до вихідного зображення, перетвореного у колірну модель HSL.

*Фільтрація «за кольором» в S-каналі.* Відповідно до поставленого завдання, розроблені алгоритми виділяють на зображенні дорожнє покриття та дорожню розмітку. Тому висувують робочу гіпотезу стосовно того, що дорожнє покриття та дорожня розмітка будуть «сірішими», однотонними (сіре полотно та біла дорожня розмітка), і цим вони відрізнятимуться від «кольоровішого» узбіччя та інших об'єктів. Саме тому є можливість опрацювати канал насиченості та відкинути насиченіші пікселі, залишивши лише ближчі до сірого.



*Рис. 4.* Фільтрація за кольором в S-каналі зображення

Отже, на першому етапі відбувається фільтрація за кольором. Тобто відбувається відбір точок (пікселів) із заданим діапазоном у каналі насиченості S. В результаті цієї фільтрації алгоритм відфільтровує занадто яскраві та темні точки (пікселі) (рис. 4).

*Отримання вектора градієнта в L-каналі в кожній точці зображення з використанням маски оператора Собеля.* На наступному етапі до зображення застосовується оператор Собеля [5] для отримання значення градієнта світлості зображення.

Обирається канал світлості L зображення і будується градієнт значення світлості (кількості світла в пікселях), щоб знайти перехід між світлим і темним, оскільки необхідно виділити ті частини зображення, де між світлими та темними фрагментами зображення є різкий перехід. Саме добре виділені (окреслені) темні елементи на світлому фоні (або навпаки) і складають те, що в цій роботі називається контуром. Результатом застосування оператора Собеля в кожній точці зображення є двовимірний вектор, компонентами якого є похідні світлості зображення по горизонталі та вертикалі. У кожній точці зображення градієнтний вектор орієнтовано в напрямку найбільшого зростання світлості, а його довжина (магнітуда) відповідає значенню зміни світлості.

На рис. 5 зображено маски оператора Собеля, що їх застосовують для отримання градієнта світлості зображення відносно вертикальної та горизонтальної осей [5].

Процес отримання градієнта світлості зображення базується на переміщенні масок операторів Собеля по точках зображення.

*Фільтрація за магнітудою та напрямком градієнта, побудованих на попередньому кроці.* Після застосування оператора Собеля метод проводить процедуру фільтрації за магнітудою та напрямком градієнта, побудованих за L-каналом зображення, порівнюючи їх із пороговим значенням (рис. 6).

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Рис. 5. Маски оператора Собеля

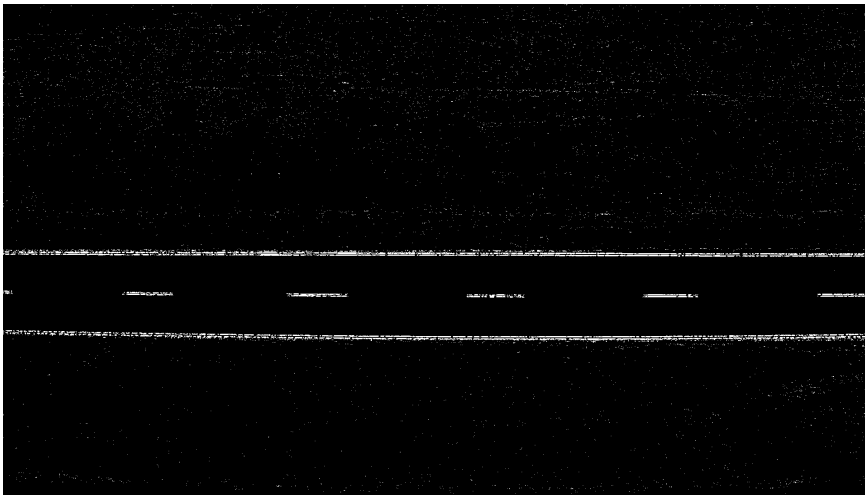


Рис. 6. Фільтрація за магнітудою та напрямком градієнта

На основі даних з бортових датчиків БПЛА на етапі попереднього оброблення зображення будується афінне перетворення, яке змінює орієнтацію вихідного зображення так, що дорожнє полотно та елементи розмітки орієнтовані горизонтально або вертикально. Тому алгоритм виділяє горизонтальні або вертикальні контури. Для чого відшуковують місця на зображенні, де градієнт світлості є значним тільки по одній з осей. Магнітуда дає змогу оцінити, наскільки різким є перепад світлості.

Напрямок (кут) градієнта та значення проєкції градієнта на осі зображення дають змогу оцінити напрямок перепаду світлості, тобто орієнтацію контуру.

*Фільтрація за значенням проєкцій градієнта.* Наступним етапом методу є фільтрація за значенням проєкцій градієнта, побудованого за L-каналом, в проєкціях на осі зображення, порівнюючи його з пороговим значенням (рис. 7)



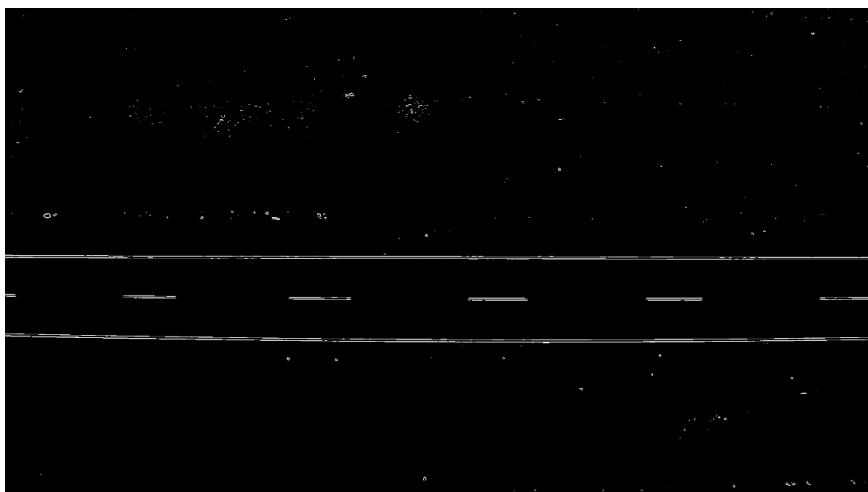


Рис. 7. Фільтрація за значеннями проєкцій градієнта

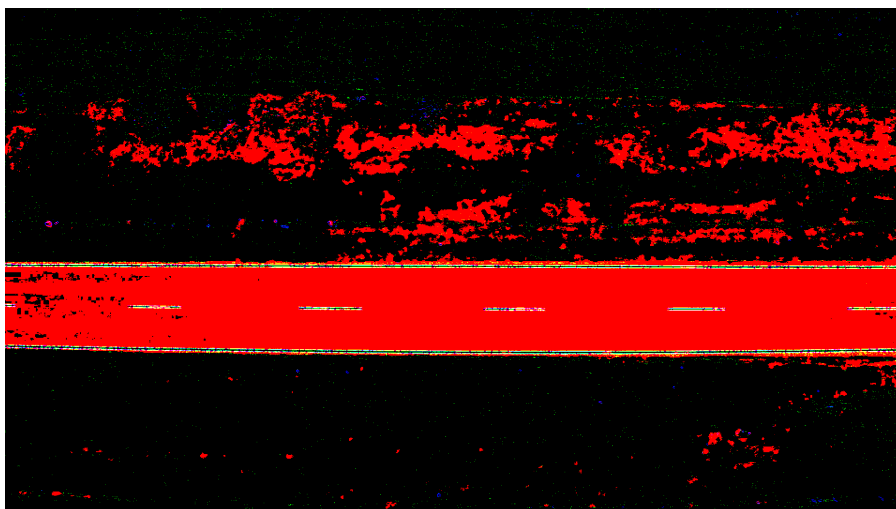


Рис. 8. Композитне накладення фільтрів

На рис. 8 зображено композитне накладення зазначених фільтрів (червоний колір — фільтрація за кольором, зелений — фільтрація за магнітудою та напрямком градієнта, синій — фільтрація за значеннями проєкцій градієнта).

Створений комбінований фільтр, який поєднує всі три описані методи фільтрації, застосовують для відбору лише тих точок зображення, які задовольняють вимоги фільтра за значеннями проєкцій градієнта або фільтра за напрямком і магнітудою градієнта. І додатково ці точки мають задовольняти вимоги фільтра за кольором. Надалі алгоритм працює з результатами комбінованої фільтрації.

*Фільтрування шуму.* Для підвищення якості та точності методу на наступному кроці відбувається фільтрування шуму на бінарному зображенні.

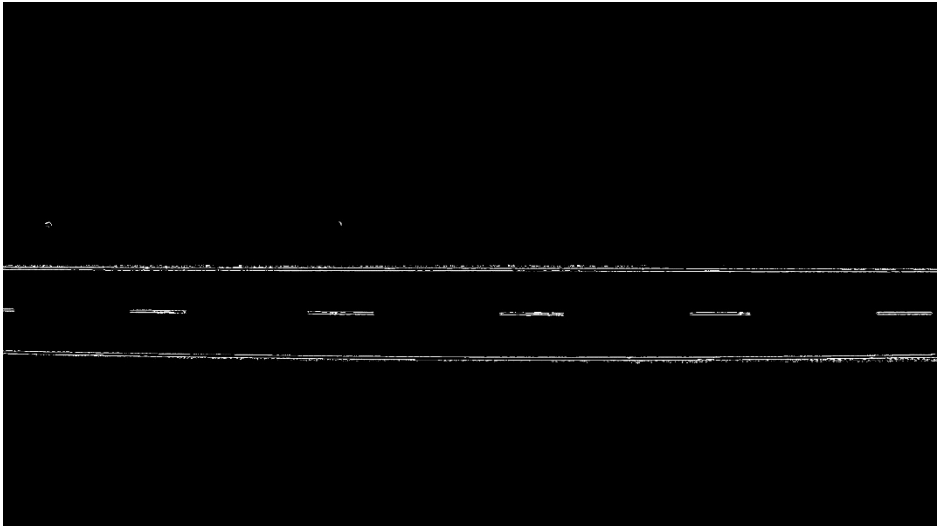


Рис. 9. Відфільтроване зображення

Суть фільтрації полягає в тому, що для кожного білого пікселя зображення задається певна апертура або окіл точки (пікселя) — множина пікселів зображення розмірністю  $n \times n$ . Надалі алгоритм підраховує кількість білих точок, які належать до апертури кожної білої точки. Правило прийняття рішення про значення елемента (пікселя) вихідного зображення таке: якщо кількість білих точок у вибраній апертурі менша за встановлене порогове значення, то базовий піксель визначають як шум позначаючи його чорним кольором [6].

На рис. 9 зображено результати застосування маски, побудованої на основі комбінованого фільтру. Також до зображення додатково застосовано фільтр видалення шуму.

Розглянемо роботу алгоритму безпосередньо для випадку виявлення розмітки дорожнього покриття для подальшого аналізування її стану.

*Знаходження сегментів ліній на основі ймовірнісного методу перетворення Хафа.* Побудоване зображення (рис. 9) є растровим. Для визначення кількісних та якісних оцінок зазвичай необхідно згенерувати векторну інформацію: сегменти контурів об'єктів, межі окремих елементів зображення (об'єктів).

Зокрема основні елементи дорожньої розмітки є лініями певної товщини. Тому для виокремлення розмітки (знаходження сегментів ліній) до отриманого після всіх фільтрацій зображення (рис. 9) може бути застосовано обчислювальний алгоритм для пошуку об'єктів, які належать до певного класу фігур — імовірнісний метод перетворення Хафа (probabilistic Hough transform) [7].

Перетворення Хафа (Hough Transform) [8] — це метод пошуку ліній, кіл та інших простих форм на зображенні. Перетворення Хафа призначене для пошуку об'єктів, які відносять до певного класу фігур із застосуванням процедури голосування. Процедуру голосування застосовують до простору параметрів, з якого й виходять об'єкти певного класу фігур за локальним

максимумом у так званому накопичувальному просторі (accumulator space), який будують під час обчислення трансформації Хафа.

Перетворення Хафа ґрунтується на поданні об'єкта пошуку як параметричне рівняння. Параметри цього рівняння задають фазовий простір (акумуляторний масив / простір, простір Хафа).

Потім перебирають всі точки кордонів бінарного зображення та роблять припущення, що точка належить лінії об'єкта пошуку, тобто для кожної точки зображення обчислюють потрібне рівняння та отримують необхідні параметри, які зберігаються в просторі Хафа.

Фінальним кроком є обхід простору Хафа і вибір максимальних значень, за які «проголосувало» найбільше пікселів картинки, і який надає параметри для рівнянь об'єкта пошуку.

Найпоширенішим випадком застосування перетворення Хафа є пошук ліній. В основі теорії перетворення Хафа лежить твердження, що будь-яка точка бінарного зображення може бути частиною деякого набору можливих ліній.

Імовірнісний метод перетворення Хафа має бути ефективним для зображень із кількома довгими лінійними сегментами [9]. Метод повертає сегменти лінії, які подають як точки початку і кінця. Ймовірнісне перетворення Хафа полягає в тому, що для знаходження об'єкта достатньо виконати перетворення Хафа лише для частини  $a$  точок вихідного зображення,  $0\% \leq a \leq 100\%$  Тобто спочатку провести виділення «контрольних» точок із зображення, і для них виконати перетворення Хафа.

Результати, отримані із застосуванням імовірнісного методу перетворення Хафа, зображено на рис. 10. Отримані результати є незадовільними та малопридатними для подальшого оброблення, оскільки виділені сегменти не відображають якісних та кількісних показників об'єктів інтересу на зображенні.

*Виокремлення границь кластеру точок із застосуванням гістограм.* Для усунення недоліків відомих методів і якісного та змістовного виокремлення границь об'єктів було розроблено алгоритм виокремлення границь кластеру точок із застосуванням гістограм (рис. 11).

На першому етапі алгоритму виокремлення границь кластеру точок із застосуванням гістограм визначають вісь, по якій в подальшому буде побудовано гістограму та виконано подальші операції. Для цього алгоритм будує такі гістограми по осях  $OX$  і  $OY$  зображення, які визначають кількість білих точок (пікселів) в кожній колонці та в кожному рядку зображення відповідно. Надалі для кожної з побудованих гістограм алгоритм вибирає  $N$  максимальних та мінімальних значень і обчислює середні максимальне і мінімальне значення для гістограми. Як вибрану вісь алгоритм виділяє ту, яка має найбільшу різницю між середніми максимальним і мінімальним значенням, тобто гістограму з найбільшим діапазоном значень. Виділення середнього з  $N$  значень робиться щоб уникнути аномалій, які випадково потрапили на зображення.

Наступний етап алгоритму виокремлення границь розділяє зображення на смуги вздовж вибраної осі з допомогою вікна шириною  $l$ . Наприклад, для зображення на рис. 11 вибрано вісь, по якій будують гістограму — вісь  $OY$ . По осі  $OX$  відкладають вікно завширшки  $l$  і для цього вікна будують гістограму по осі  $OY$ . Аналізуючи отриману гістограму можна виокремити позиції на осі  $OY$ , де починаються і закінчуються об'єкти інтересу. Надалі алгоритм зсуває вікно на відстань  $l/2$  та повторює кроки, починаючи з побудови гістограми. Алгоритм працює до моменту, поки не охопить все зображення (досягне правого краю зображення). В результаті в кожній смугі вікна отримано об'єкти завширшки  $l$ . Об'єднання сукупності цих об'єктів визначає фінальний об'єкт інтересу на зображенні.

Отримані дані може бути в подальшому використано для кількісного та якісного опису об'єкту інтересу.

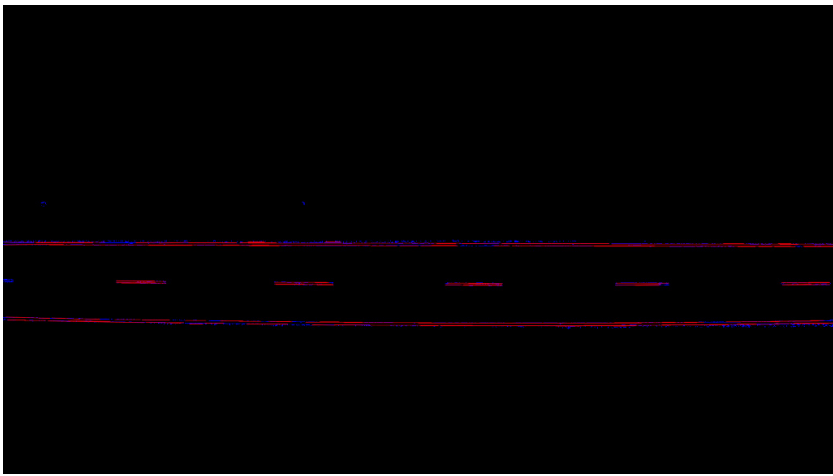


Рис. 10. Знаходження сегментів ліній на основі ймовірного методу перетворення Хафа

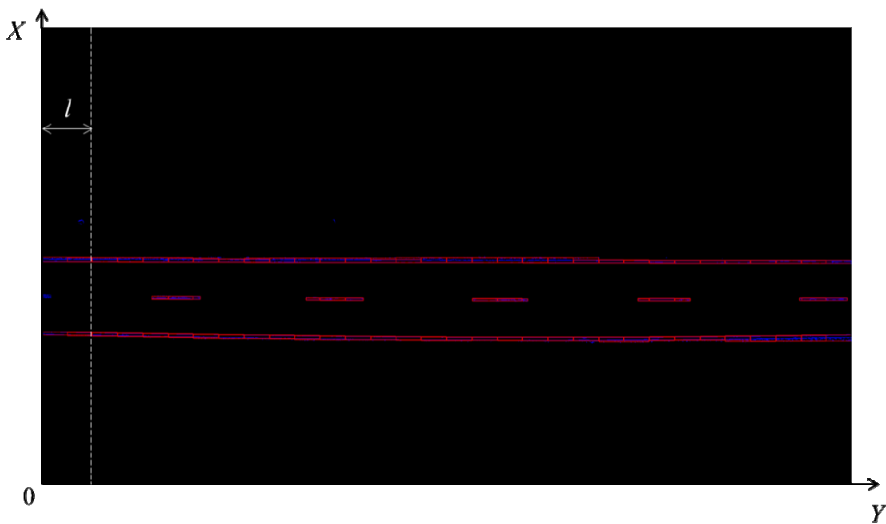


Рис. 11. Виокремлення границь об'єктів для сегментів ліній

Виділені зони характеризують особливості розмітки дорожнього покриття, і їх можна застосовувати в подальшому для вироблення та прийняття обґрунтованих рішень щодо підтримки задовільного стану розмітки дорожнього покриття тощо.

Застосування методів контурного аналізу зображень дає змогу формувати інтегральні образи геопросторових об'єктів, які можна використовувати для розпізнавання динамічних змін просторово-часових даних при моніторингу транспортної інфраструктури.

Вибір найінформативніших ознак для визначення розвитку динаміки та стану ситуації проводять на основі властивостей об'єктів і роздільної здатності формувачів сигналу зображення.

Наприклад, під час оброблення просторово-часового образу розмітки дорожнього покриття кращими є такі геометричні ознаки, інваріантні відносно розвороту зображення, як площа для зображень об'єктів, координати центрів мас для зображень об'єктів, кількість зображень об'єктів, неперервність зображень об'єктів тощо.

## **ВИСНОВКИ**

Розвиток безпілотних авіаційних технологій та геоінформаційних систем відкрив шлях до якісного моніторингу в багатьох галузях господарства. Транспортна інфраструктура з усіма інженерними мережами потребує особливої уваги. Такий метод отримання інформації, як аерофотознімання з БпЛА, є найбільш економічно вигідним, дистанційним та ефективним способом забезпечення геоінформаційних систем необхідними актуальними даними.

Стрімкий розвиток систем комп'ютерного зору зробив можливим детальний аналіз стану транспортної інфраструктури і автоматизацію прийняття рішень. Автоматизовані чи напівавтоматизовані системи моніторингу та аналізу забезпечують управлінців необхідними даними та скорочують час прийняття рішень, чим підвищують безпеку і комфортність транспортної інфраструктури.

Незважаючи на активний розвиток сфери комп'ютерного зору, все ще немає універсальних алгоритмів зорового спостереження та розпізнавання.

Однією з задач моніторингу транспортної інфраструктури є моніторинг стану покриття та дорожньої розмітки з метою вчасної ідентифікації проблем та їх вирішення.

Запропонований метод виділення контурів на зображеннях показує хороші результати в спостереженні за станом дорожнього покриття і розмітки. Метод легко може бути модифіковано для моніторингу залізничної інфраструктури, ліній електропередач та інших інженерних мереж (нафто- чи газопроводів). Отримані результати можуть бути впроваджені в автоматизовані чи напівавтоматизовані системи прийняття рішень відповідних державних служб для підвищення рівня безпеки життєдіяльності людей та економічного розвитку держави.

Перспективи подальшого дослідження полягають у підвищенні якості методів тематичного оброблення для покращення результату класифікації. Розроблені методи можуть бути використані замість експертного дешифрування моніторингових даних з аналогічною та навіть вищою точністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Schubert, Johan Brynielsson, Joel Nilsson, Mattias Svenmarck, Peter. Artificial Intelligence for Decision Support in Command and Control Systems 2018.
2. Козуб А.М. Аналіз засобів збору інформації для географічних інформаційних систем А.М. Козуб, Н.О. Суворова, В.М. Чернявський. Системи озброєння і військова техніка. 2011. № 3. С. 42–47.
3. Bhanu B. Automatic target recognition State of the art survey IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. Vol. AES-22. July 1986, pp. 364–379.
4. Даник Ю.Г., Проценко М.М. Вибір колірної моделі для цифрової обробки зображень у безпілотних авіаційних системах Вісник ЖДТУ. 2013. № 2 (65).
5. Sobel, Irwin. (2014). An Isotropic 3x3 Image Gradient Operator. Presentation at Stanford A.I. Project 1968.
6. N. Jamil, T. M. T. Sembok and Z. A. Bakar, "Noise removal and enhancement of binary images using morphological operations," 2008 International Symposium on Information Technology, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008, pp. 1–6, doi: 10.1109/ITSIM.2008.4631954.
7. N. Kiryati, Y. Eldar, A.M. Bruckstein, 1991. A probabilistic Hough transform. Pattern Recognition. Vol. 24, Issue 4, 1991, pp. 303–316, doi: 10.1016/0031-3203(91)90073-E.
8. J. Illingworth, J. Kittler, 1988. A survey of the hough transform. Computer Vision, Graphics, and Image Processing. Vol. 44, Issue 1, 198, pp. 87–116, doi: 10.1016/S0734-189X(88)80033-1.
9. Thomas Risse, 1989. Hough transform for line recognition: Complexity of evidence accumulation and cluster detection. Computer Vision, Graphics, and Image Processing. Vol. 46, Issue 3, 1989, pp. 327–345, doi: 10.1016/0734-189X(89)90036-4

Отримано 29.04.2024

REFERENCES.

1. Schubert Johan Brynielsson, Joel Nilsson, Mattias Svenmarck Peter. Artificial Intelligence for Decision Support. *Command and Control Systems*, 2018.
2. Kozub A.M. Analysis of the Means of Gathering Information for Geographic Information Systems Kozub A.M., Suvorova N.O., Chernjavskiy V.M. Sistemi ozbroennâ i vijskova tehnika. 2011. № 3. pp. 42-47 ISSN 1997-9568 [In Ukrainian]
3. Bhanu B. Automatic target recognition State of the art survey . *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.* Vol. AES-22, July 1986, pp. 364–379.
4. Danyk Yu.H., Protsenko M.M. Choice of color model for the digital processing of images in unmanned aircraft system. *The Journal of Zhytomyr State Technological University*. 2013. № 2 (65). [In Ukrainian]
5. Sobel Irwin. (2014). An Isotropic 3x3 Image Gradient Operator. Presentation at Stanford A.I. Project 1968.
6. N. Jamil, T. M. T. Sembok, Z. A. Bakar. Noise removal and enhancement of binary images using morphological operations. *2008 International Symposium on Information Technology*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008, pp. 1–6, doi: 10.1109/ITSIM.2008.4631954.
7. N. Kiryati, Y. Eldar, A.M. Bruckstein. A probabilistic Hough transform. *Pattern Recognition*. 1991, Vol. 24, Issue 4, 1991, pp. 303–316, doi: 10.1016/0031-3203(91)90073-E.
8. J. Illingworth, J. Kittler. A survey of the hough transform. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. 1988, Vol. 44, Issue 1, 198, pp. 87–116, doi: 10.1016/S0734-189X(88)80033-1.
9. Thomas Risse. Hough transform for line recognition: Complexity of evidence accumulation and cluster detection. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*. 1989, Vol. 46, Issue 3, 1989, pp. 327–345, doi: 10.1016/0734-189X(89)90036-4

Received 29.04.2024

*Volosheniuk D.O.*, PhD (Engineering), Senior Researcher,  
of the Research Laboratory of Unmanned Complexes and Systems  
<https://orcid.org/0000-0003-3793-7801>, e-mail: p-h-o-e-n-i-x@ukr.net  
*Tymchyshyn R.M.*, PhD Student, Researcher  
of the Research Laboratory of Unmanned Complexes and Systems  
<https://orcid.org/0000-0002-4243-4240>, e-mail: romantymchyshyn.rt@gmail.com  
*International Research and Training Center for Information  
Technologies and Systems of the National Academy of Sciences  
of Ukraine and the Ministry of Education and Science of Ukraine,  
40, Akad. Glushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine*

## EDGE DETECTION METHOD FOR MONITORING OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

**Introduction.** *Technologies for monitoring transport infrastructure have been rapidly evolving in recent years, absorbing innovations and the latest developments. The main direction of development and use for this technology has been the implementation of continuous monitoring and control of different aspects of transport infrastructure to ensure its safety and allow efficient and timely management. Computer vision has been playing the main role in the evolution of these technologies and has made unmanned aerial vehicles (UAVs) the most cost-efficient remote monitoring tool.*

**The purpose of the paper.** *Among the main tasks in the field are monitoring traffic and the conditions of road surfaces and markings. Fast and accurate monitoring systems enable quick responses and minimize negative consequences for citizens. Despite the active development of computer vision algorithms, there is no universal algorithm that suits all scenarios. Algorithms depend on the task, conditions, and even UAV trajectory; even a slight change in the visual scene can cause suboptimal results.*

*Lately, significant progress has been made in the development of edge detection algorithms. However, they do not consider the specifics of the task of monitoring road markings. The algorithm should consider the characteristics of the objects of interest – their geometric and color features, and the presence of many other objects in the images.*

*The goal of this paper is to present method crafted specifically for the task of monitoring transport infrastructure.*

**Methods.** *Computer vision, threshold filtering, Sobel operator, noise removal, probabilistic Hough transform, histograms.*

**Results.** *The main features of the task of monitoring transport infrastructure using visual data obtained from surveillance cameras or unmanned aerial vehicles have been analyzed. Developed an algorithm for boundary extraction of point clusters using histograms. A method for edge detection in images has been developed, which addresses the shortcomings of known methods and is specifically enhanced for transport infrastructure monitoring. The method leverages the narrow specialization of the task to improve the obtained results. The foundation of the method is based on the features of the HSL color model, filtering in the saturation and lightness channels using gradients obtained from the Sobel operator, segment detection based on the probabilistic Hough transform, and a developed algorithm for boundary extraction of point clusters using histograms.*

**Conclusion.** *The proposed method can be used in automated and semi-automated decision-making systems, UAV design bureaus, UAV manufacturing enterprises, and information-analytical centers to develop unmanned aviation systems and aerial monitoring technologies to enhance human safety and the economic development of the state. The use of automatic remote monitoring data processing methods allows for faster acquisition of necessary results and improves the efficiency of using geospatial data.*

**Keywords:** *Computer vision, object detection, edge detection, image filtering, transportation infrastructure, information technology, monitoring.*