

УДК 681.525; 007.5

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239084

Розробка методу обробки зображення для систем моніторингу стану транспортної інфраструктури

О. Є. Волков, М. М. Комар, Д. О. Волошенюк

Виявлення і класифікація контурів на зображеннях важлива у багатьох сферах застосування комп'ютерного зору. Прикладом можуть бути оперативні завдання, які вирішуються за допомогою безпілотних літальних апаратів, наприклад, динамічний моніторинг стану транспортної інфраструктури, зокрема дорожньої розмітки.

В результаті досліджень було виявлено, що наявні методи контурного аналізу зображень не дають чітких та надійних результатів при вирішенні завдання контролю стану дорожньої розмітки. Тому актуальною є науково-прикладна задача вдосконалення методів і моделей фільтрації, обробки бінарних зображень та якісного і змістовного виокремлення границь об'єктів інтересу.

Для вирішення завдання виділення контурів дорожньої розмітки на зображеннях, отриманих від безпілотного літального апарату розроблено метод, який містить оперативний інструмент попередньої обробки зображень – комбінований фільтр. Розроблений метод має ряд переваг та усуває недоліки відомих методів при визначенні меж розташування об'єкта інтересу, шляхом виокремлення контурів кластеру точок із застосуванням гістограм.

Розроблений метод та процедури дають змогу успішно вирішувати проблеми, значною мірою подібні до тих, з якими може стикатися людина-експерт при вирішенні інтелектуальних завдань обробки та фільтрації інформації.

Запропонований метод пройшов апробацію на підприємстві, що виробляє український безпілотний літальний апарат «Spectator» під час випробувань інформаційної технології динамічного моніторингу стану транспортної інфраструктури.

Результати можуть бути імплементовані в перспективні системи інтелектуального керування у галузі моделювання свідомої поведінки людини по виділенню даних, необхідних для сприйняття особливостей зовнішнього середовища.

Ключові слова: комп'ютерний зір, виявлення контурів, фільтрація, оператор Собеля, перетворення Хафа, оператор Лапласа.

1. Вступ

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

Такий метод отримання інформації, як аерофотозйомка з безпілотного літального апарату (БпЛА), є найбільш економічно вигідним, дистанційним та ефективним способом забезпечення споживачів необхідною інформацією про будь-який об'єкт інтересу на поверхні [1, 2].

Є ряд завдань, для вирішення яких необхідний аналіз отриманої геопросторової інформації, яка ідентифікує географічне розташування і різні властивості природних або штучно створених об'єктів, а також їх контурів [3, 4]. Ця інформація може бути отримана за допомогою дистанційного зондування, картографування і різних видів аерозйомок. Такими завданнями можуть бути оперативні завдання, які вирішуються за допомогою застосування БпЛА, наприклад, для динамічного моніторингу (оцінки та аналізу) стану транспортної інфраструктури (якості дорожнього покриття) [5]. Основною особливістю оперативних баз даних геоінформаційних систем є можливість представлення даних у вигляді просторово-часових шарів картографічних образів польотів. Аналіз картографічних образів дає можливість розпізнавати і прогнозувати динаміку процесів, що в свою чергу дає змогу приймати своєчасні та обґрунтовані рішення в системах інтелектуального керування [6].

Зокрема, створені картографічні образи польотів БпЛА в оперативних базах даних, дають змогу проводити моніторинг транспортної інфраструктури, окремим випадком такого моніторингу є контроль стану дорожньої розмітки. Стан дороги є комплексом окремих елементів, які впливають на комфорт поїздки, здоров'я і безпеку людей, які користуються дорогою. Крім цього, він впливає на транспортні витрати підприємств, вартість продукції, а отже, і на економічне життя регіонів. Незадовільний функціональний стан доріг підвищує витрати палива, призводить до затримок вантажів і пасажирів в дорозі, а іноді, і до псування та втрати вантажів, пошкоджень транспортних засобів.

Для вирішення завдання моніторингу транспортної інфраструктури на базі геопросторових даних, отриманих від БпЛА, необхідним є розроблення методів комп'ютерного зору для видобування та використання інформації про навколишнє середовище. Розроблення методу виявлення контурів, який відповідає вимогам швидкодії, точності та простоти реалізації на апаратних засобах, розміщених на борту БпЛА є актуальним завданням. Оскільки алгоритми комп'ютерного зору треба виконувати на мобільних пристроях, які можна встановити на борт БпЛА. Однією з вимог до таких методів є те, що вони повинні виконуватись практично на будь-якій обчислювальній платформі, як мобільного, так і стаціонарного типу.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Основні елементи дорожньої розмітки є лініями певної товщини, для сегментації яких можна застосовувати ряд методів, які вирішують задачу виявлення контурів. В роботах [7, 8] автори досліджують застосування стандартного перетворення Хафа для виявлення форми та стану дорожньої розмітки. Це дослідження розкриває можливості застосування перетворення Хафа для надійної системи прийняття рішень для підтримки технічних працівників. Основними перевагами даного методу є досить значна точність виявлення об'єктів на зо-

браженні, здатність працювати з високим рівнем шуму на зображенні. Основний недолік методу – значна складність обчислень, що зростає разом з кількістю параметрів, якими виражено шуканий геометричний об'єкт [9].

Інший підхід запропоновано в роботі [10] із застосуванням імовірнісного перетворення Хафа у системі попередження про виїзд із смуги руху. При спробі застосувати запропонований авторами алгоритм для контролю стану дорожньої розмітки результати, отримані із застосуванням ймовірнісного методу перетворення Хафа, є незадовільними та малопридатними для подальшої обробки. Оскільки сам метод ймовірнісний, а отже і результати його можуть бути непередбачуваними. Отримані виділені сегменти не відображають якісних та кількісних показників об'єктів інтересу на зображенні. Варіантом подолання таких труднощів може бути застосування методу, запропонованого в роботі [11]. Але ефективність методу забезпечується тільки при чітко окресленій розмітці дороги.

Альтернативою перетворенням Хафа може бути детектор контурів Кенні. Саме його автори роботи [12] застосовують для того, щоб отримати позначення краю смуги на зображенні дороги у системі допомоги водію автомобіля на основі комп'ютерного зору. Обмеженнями застосування оператора Кенні є те, що розмітка має бути чітко нанесеною, що не завжди є можливим, адже зокрема на стан нанесення розмітки спрямовано її моніторинг. Оператор Кенні іноді видає хибні результати, що обумовлено чутливістю методу до шумів на зображенні. Для надійного застосування оператора Кенні необхідна значна попередня обробка та фільтрація зображення [13]. Недоліком оператора Кенні також є те, що обчислення достатньо складні, що робить практично неможливим його застосування для обчислень в масштабі реального часу.

Менш вимогливим методом до обчислювальних потужностей є оператор Лапласа. У джерелі [14] оператор Лапласа застосовують у виявленні контурів проїжджої частини для систем безпеки дорожнього руху, а також наводять апаратне та програмне забезпечення, необхідне для її реалізації. Запропонований метод демонструє більшу ефективність з обчислювальної точки зору, але має дещо гірші результати у порівнянні з перетворенням Хафа та оператором Кенні. Це відбувається через втрату частини інформації щодо напрямку контурів, що призводить до переривчастого виявлення контурів та чутливості до шумів [15].

Варіантом подолання відповідних труднощів може бути застосування оператора Собеля. Саме такий підхід використаний у роботах [16, 17], проте через особливості, притаманні оператору Собеля спостерігається втрата деталей на зображенні, що негативно впливає на точність роботи методу [18]. Цікавим є результат, отриманий авторами, який описано в джерелі [19]. До зображення застосовується оператор Собеля, потім на основі методу Оцу пропонується ефективний алгоритм двійкового кодування зображення дорожньої смуги, щоб сегментувати край дороги методом перетворення Хафа. Ці дослідження дають змогу прийти до висновку, що, застосовуючи оператор Собеля та створивши алгоритми фільтрації зображення, можна створити метод обробки зображення, який усуває проблеми, які виникають при вирішенні питання виділення контуру на зображенні.

Отже, значна кількість публікацій дає змогу стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого розробленню методу фільтрації та обробки зображення на основі Собелевських градієнтів. Основними вимогами до якого є швидкодія, тобто можливість працювати у масштабі реального часу, та забезпечення точності та надійності роботи.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є розробка методу обробки зображення для систем моніторингу стану транспортної інфраструктури, який відповідає вимогам швидкодії, точності та реалізації на апаратних засобах, розміщених на борту БпЛА. Результати дадуть змогу якісно і змістовно виокремлювати контури об'єктів інтересу, а також розширять спектр завдань для вирішення яких застосовуються БпЛА, зокрема для моніторингу стану транспортної інфраструктури.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розробити комбінований фільтр видалення шуму на бінарному зображенні;
- розробити метод виокремлення контурів кластеру точок із застосуванням гістограм для усунення недоліків відомих методів та якісного і змістовного виокремлення границь об'єктів інтересу.

4. Матеріали та методи досліджень

Одним із шляхів розвитку технологій обробки зображень є вдосконалення методів контурного аналізу, обробки та фільтрації бінарних зображень.

Загалом в дослідженні було застосовано такі теоретичні та методологічні інструменти досліджень, як: теорія аналізу, змістовної інтерпретації та використання великих обсягів складно структурованих даних, отриманих від бортових сенсорних мереж. Для валідації запропонованого методу застосовувались методи лінійної алгебри, математичної статистики, теорії алгоритмів, методи мультиагентного моделювання математичного моделювання та комп'ютерного експерименту.

Дослідження проводилось у галузі комп'ютерного зору, із застосуванням методів контурного аналізу зображень, а також методів і алгоритмів власного розроблення, спрямованих на інтелектуальне оброблення аерофотознімків. Це дасть змогу приймати обґрунтовані рішення в системах інтелектуального керування, які пов'язано із сегментацією та виділенням об'єктів інтересу або контекстним пошуком та формуванням контекстозалежного опису зображення тощо.

Методологічною основою розроблення методу обробки зображення для систем моніторингу стану транспортної інфраструктури є:

- порогові методи сегментації по яскравості, які полягають в тому, щоб поставити величину порогу по яскравості і, відносно нього сегментувати пікселі зображення на дві множини, що належать об'єкту і фону;
- статистичні методи сегментації, засновані на використанні оптимальних статистичних класифікаторів. В порівнянні з детермінованими методами такі методи є більш трудомісткими, але вони дають змогу стійко сегментувати зображення в умовах невизначеності. Недоліком таких методів є те, що найбільш ефективними вони виявляються лише для обробки кольорових зображень;

– контурна сегментація. Основою методів сегментації вважаються контурні методи, оскільки вони є стійкими до варіацій рівнів яскравості та контрастності зображень. Основною для побудови контурних методів сегментації є граничні детектори, призначенні для виявлення граничних пікселів зображень по контрастності на основі використання масок. Такий підхід набув значного поширення в силу своєї простої програмної реалізації. Після сегментації пікселів границі наступним кроком виконується зв'язування контурів і побудова границь зображень. В загальному при побудові границі існують дві ключові проблеми – поява розривів і потовщення границі. Однак в складних умовах низької контрастності методи характеризуються високою складністю усунення помилкових границь при заниженому порозі, а також складністю усунення розривів границі при підвищеному порозі [20];

– гістограмна сегментація, основана ідея якої полягає в тому що, щоб побудувати бімодальну гістограму яскравості зображень в виділенні області, вибрати поріг в точці мінімуму та сегментувати зображення з цим порогом.

Також слід зазначити, що зображення, що підлягають обробці, можуть містити шум. Причиною тому можуть бути спотворення, що вносяться до зображення предметами, які активно відбивають світло, нерівномірна прозорість повітря під час зйомки, частки пилу, якість апаратури тощо. Тому необхідна додаткова попередня фільтрація зображення, наприклад, методом попередньої фільтрації зображення, при якому обробка відбувається за допомогою застосування деякого оператора послідовно до кожної точки зображення.

Запропонований метод є однією із складових інформаційної технології динамічного моніторингу стану транспортної інфраструктури, яка наразі створюється на базі українських безпілотних авіаційних комплексів «Spectator-M1» та «Берегиня». Для підтвердження правильності вибору теоретичних та методологічних інструментів було проведено комплекс випробувальних робіт з супроводу заявленої інформаційної технології на всіх етапах розробки і впровадження, включаючи льотні випробування. При виконанні цих робіт була використана матеріально-технічна база підприємства-розробника безпілотних авіаційних комплексів, включаючи необхідні для виконання проекту дослідницькі стенди, тренажери та БпЛА. В ході виконання комплексу дослідницьких і випробувальних робіт використовувались такі теоретичні та методологічні інструменти, як: методи напівнатурного моделювання, методи інженерії програмного забезпечення, методи льотних вимірювань, методи обробки та аналізу даних тощо.

5. Результати дослідження, спрямованого на розроблення методу пошук контурів об'єкту інтересу

5. 1. Комбінований фільтр видалення шуму на бінарному зображенні

Об'єкт, що має колір, може випромінювати світло або поглинати його. У першому і в другому випадку колір об'єкта описується по-різному, тобто для його опису застосовуються різні моделі кольору. Параметри кольору можуть бути виражені за допомогою різноманіття кольорових моделей. Найчастіше в графічних пакетах використовується кольорова модель RGB – кольорова мо-

дель, що описує спосіб кодування для відтворення кольору за допомогою трьох кольорів, які прийнято називати основними [21].

На початковому етапі зображення має PNG формат у вигляді двовимірної матриці розмірністю 1920×1080 , кожним елементом якої є 3-елементний вектор. В RGB просторі кожен трьохелементний вектор задає відносні яскравості точки.

Для вирішення завдання виділення контурів та подальших операцій з зображенням розроблений метод перетворює вихідне зображення (рис. 1) з моделі RGB у модель HLS (Hue-Lightness-Saturation). HSL (Hue, Saturation, Lightness) – кольорова модель, в якій будь-який колір визначається трьома характеристиками. Такими характеристиками є: кольоровий тон (Hue); насиченість (Saturation), тобто частиною чистого кольору, без домішки чорного та білого; легкість (Lightness), тобто близькістю до білого кольору [21]. Після перетворення на виході є двовимірна матриця розмірністю 1920×1080 , кожним елементом якої є 3-елементний вектор – це є вхідним масивом числових параметрів з яким працює запропонований метод.



Рис. 1. Вихідне зображення, отримане з борту безпілотного літального апарату

В подальшому проводяться процедури фільтрації, які застосовуються до вихідного зображення, перетвореного у кольорову модель HSL.

Відповідно до поставленого завдання, розроблений метод виділяє на зображенні дорожнє покриття і дорожню розмітку. Тому висувається робоча гіпотеза стосовно того, що дорожнє покриття і дорожня розмітка будуть «сірими», однотонними, і цим вони будуть відрізнятися від «кольорового» узбіччя та інших об'єктів. Саме тому є можливість взяти канал насиченості і відкинути більш насичені пікселі, залишивши лише ті, що ближчі до сірого.

Отже, на першому етапі відбувається фільтрація «за кольором». Тобто відбувається відбір точок (пікселів) із заданим діапазоном у каналі "насиченості" (S). В результаті цієї фільтрації метод відфільтровує занадто яскраві та темні

точки (пікселі) (рис. 2). Тобто, з вхідного масиву числових параметрів виділяється той елемент кожного 3-елементного вектору, який відповідає каналу S. В результаті отримано двовимірну матрицю 1920×1080 , кожним елементом якої є байт – відносне значення каналу S зображення. Фільтрація відбувається за таким принципом: якщо значення елементу масиву більше або дорівнює заданому нижньому пороговому значенню і менше або дорівнює верхньому пороговому значенню, байт приймає значення одиниця. В іншому випадку – обертається в нуль. В даному прикладі для фільтрації в каналі S нижнє порогове значення було обране 0, і верхнє 25.

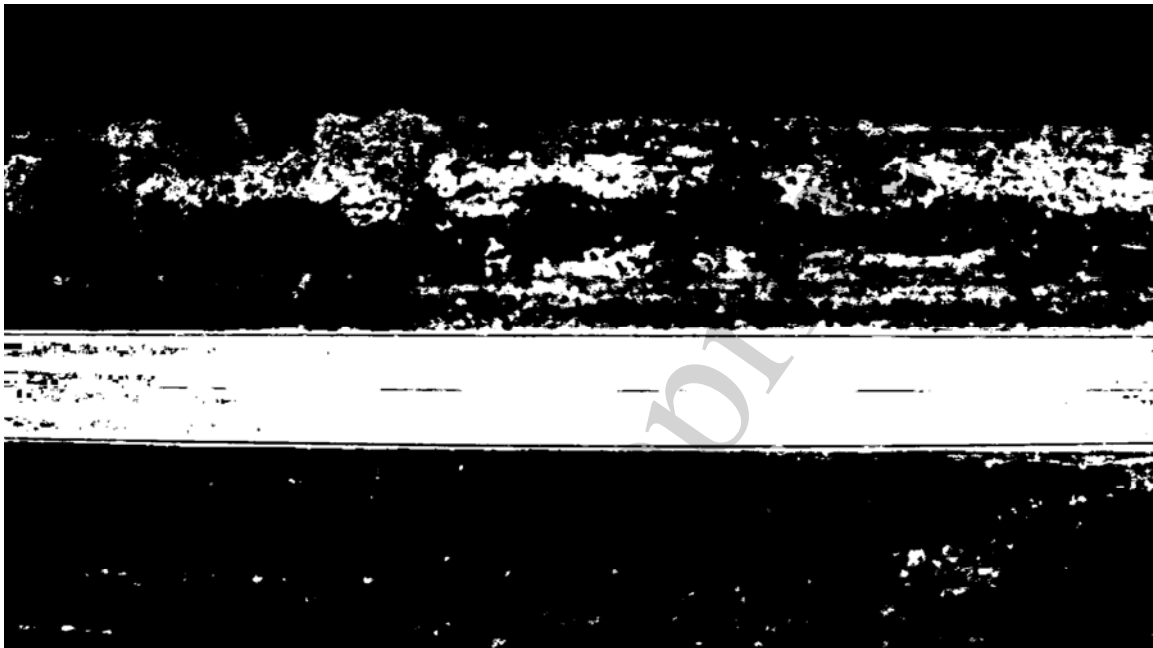


Рис. 2. Фільтрація «за кольором» в S-каналі зображення

На наступному етапі до зображення застосовується оператор Собеля для отримання значення градієнта світності зображення [22]. Також відшукується двовимірна матриця, кожним елементом якої є байт – відносне значення каналу L зображення.

Обирається канал «світності» L зображення і будується градієнт значення світності (кількості світла в пікселях). В результаті виділяються ті частини зображення, де має місце різкий перехід між світлими і темними фрагментами зображення. Саме добре виділені (окреслені) темні елементи на світлому фоні (або навпаки) і складають те, що в даній роботі називається контуром. Результатом застосування оператора Собеля в кожній точці зображення є двовимірний вектор, компонентами якого є похідні світності зображення по горизонталі і вертикалі. У кожній точці зображення градієнтний вектор орієнтований в напрямку найбільшого збільшення світності, а його довжина (магнітуда) відповідає величині зміни світності.

Процес отримання градієнта світності зображення базується на переміщенні масок операторів Собеля по точкам зображення.

По двовимірній матриці, кожним елементом якої є байт – відносне значення каналу L зображення, будується чотири нових масиви, елементами яких будуть числа з плаваючою точкою, за такими правилами:

– елементами масиву $sobel_X$ є значення Собелевського градієнту для околу відповідного елемента вихідного масиву по осі X (величина проекції Собелевського градієнту на вісь X масиву в околі даного елемента);

– елементами масиву $sobel_Y$ є значення Собелевського градієнту для околу відповідного елемента вихідного масиву по осі Y (величина проекції Собелевського градієнту на вісь Y масиву в околі даного елемента);

– елементами масиву M є абсолютне значення (довжина, магнітуда) градієнту;

– елементами масиву MD є напрям (кут, азимут) градієнту.

Розмір ядра оператора Собеля (Sobel Kernel), фактично розмір околу точки, в якому будується градієнт, був в даному прикладі обраний рівним 5.

Далі, по чотирьом масивам числових параметрів $sobel_X$, $sobel_Y$, M , MD , будується новий масив розмірності 1920×1080 , кожен елемент якого містить байт із значенням одиниця або нуль. Новий масив будується за такими правилами: для кожного елемента вихідного масиву розглядаються відповідні елементи $sobel_x$, $sobel_y$, m , md масивів $sobel_X$, $sobel_Y$, M , MD . Відповідні елементи займають ту ж позицію (рядок та стовпчик), іншими словами мають ті ж координати.

Значення $sobel_x$, $sobel_y$, m нормуються до діапазону значень $[0, 255]$. Для чого визначаються максимальне значення елемента в матриці $sobel_X$, в матриці $sobel_Y$, а також максимальне значення елемента в матриці M .

Після застосування оператора Собеля метод проводить процедуру фільтрації по магнітуді і напрямку градієнта, побудованих по L-каналю зображення, порівнюючи їх з нижнім і верхнім пороговим значенням (рис. 3).

В даному випадку для програмної реалізації порогові значення були обрані таким чином:

– порогові значення проекції градієнта: $[120, 255]$;

– порогові значення магнітуди градієнта: $[40, 255]$

– порогові значення азимуту градієнта: $\left[\frac{\pi}{2} - 0,985; \frac{\pi}{2}\right]$.

В результаті певних процедур попередньої обробки, вихідне зображення орієнтовано так, що дорожнє полотно і елементи розмітки орієнтовані горизонтально або вертикально (або під кутами, близькими до них). Тому метод виділяє горизонтальні або вертикальні контури. Для чого відшуковуються місця на зображенні, де градієнт «світності» є значним тільки по одній з осей. Магнітуда дає змогу оцінити, наскільки різким є перепад «світності».

Напрямок (кут) градієнта і значення проекції градієнта на осі зображення дають змогу оцінити напрямок перепаду світності, тобто орієнтацію контуру.

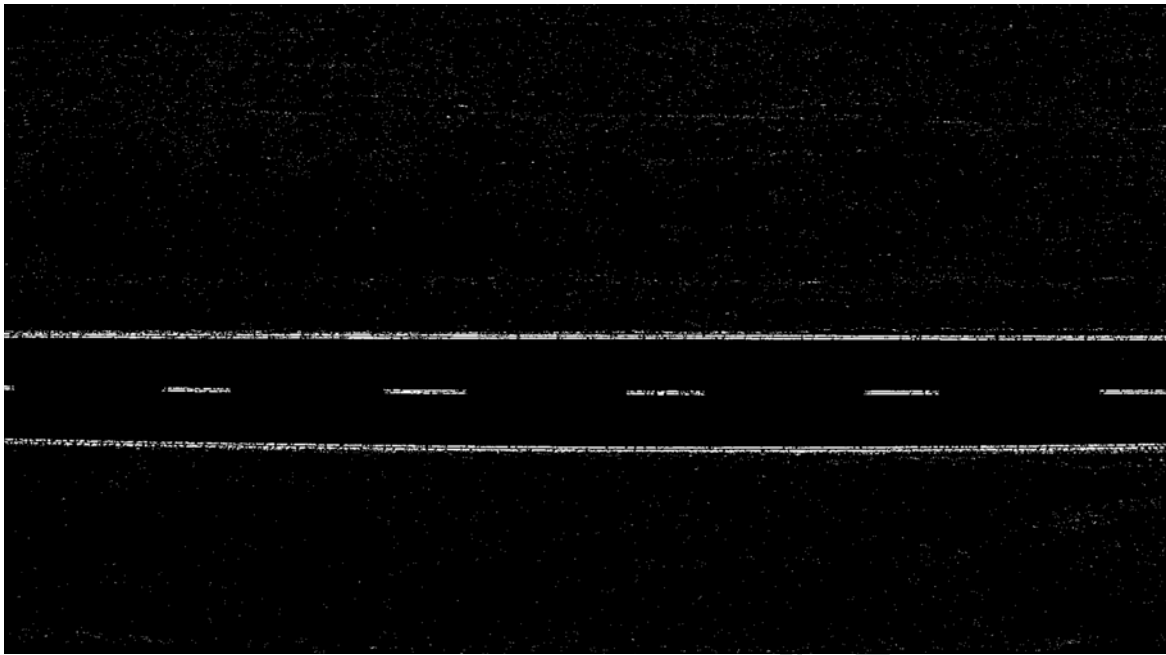


Рис. 3. Фільтрація по магнітуді і напрямку градієнта

Наступним етапом проводиться процедура фільтрації за значенням проєкцій градієнта, побудованого по L-каналу, в проєкціях на осі зображення, порівнюючи його з пороговим значенням (рис. 4).

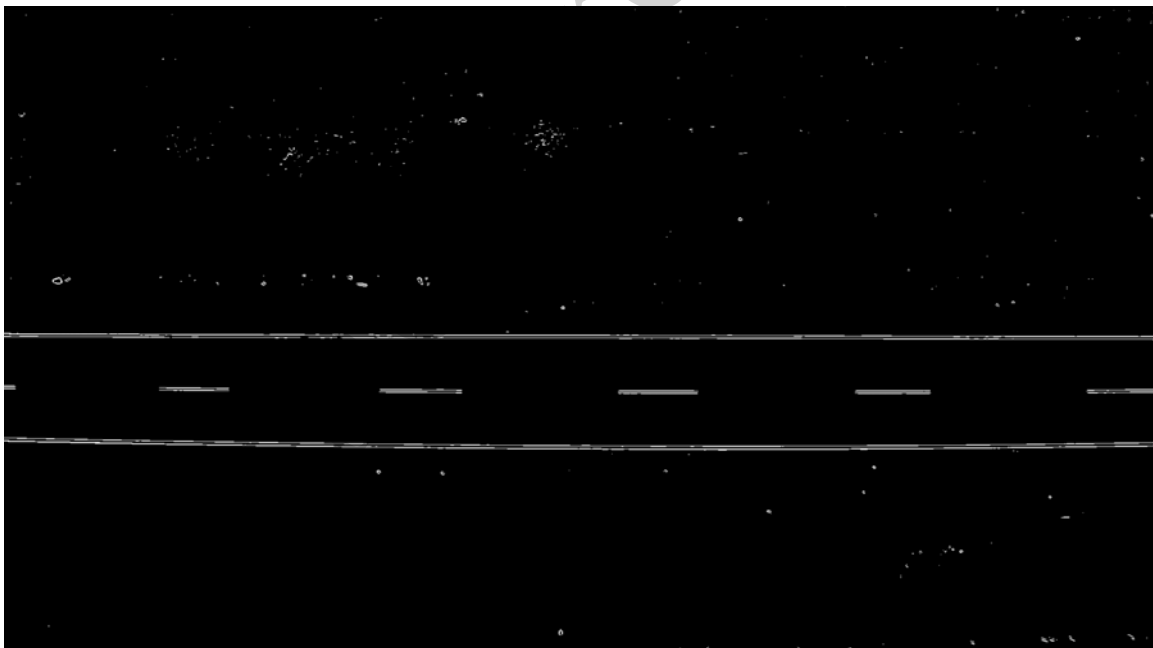


Рис. 4. Фільтрація за значеннями проєкцій градієнта

Отже, в результаті описаних вище дій, є наявними два набори масивів числових параметрів:

– S-матриця розмірністю 1920×1080 , зі значеннями нуль або одиниця, тобто маска по каналу S;

– L-матриця розмірністю 1920×1080 , зі значеннями нуль або одиниця, тобто маска по каналу L.

Надалі будується новий набір числових параметрів, матриця розмірністю 1920×1080 , зі значеннями нуль або одиниця, тобто маску зображення по каналах S і L. Вихідний елемент отримує значення одиниця, якщо відповідні елементи масок S і L рівні нулю, в іншому випадку вихідний елемент отримує значення нуль. Таким чином будується маска зображення – композитний фільтр.

На рис. 5 зображено композитне накладення зазначених вище фільтрів (червоний колір – фільтрація «за кольором», зелений – фільтрація по магнітуді і напрямку градієнта, синій – фільтрація за значеннями проекцій градієнта).

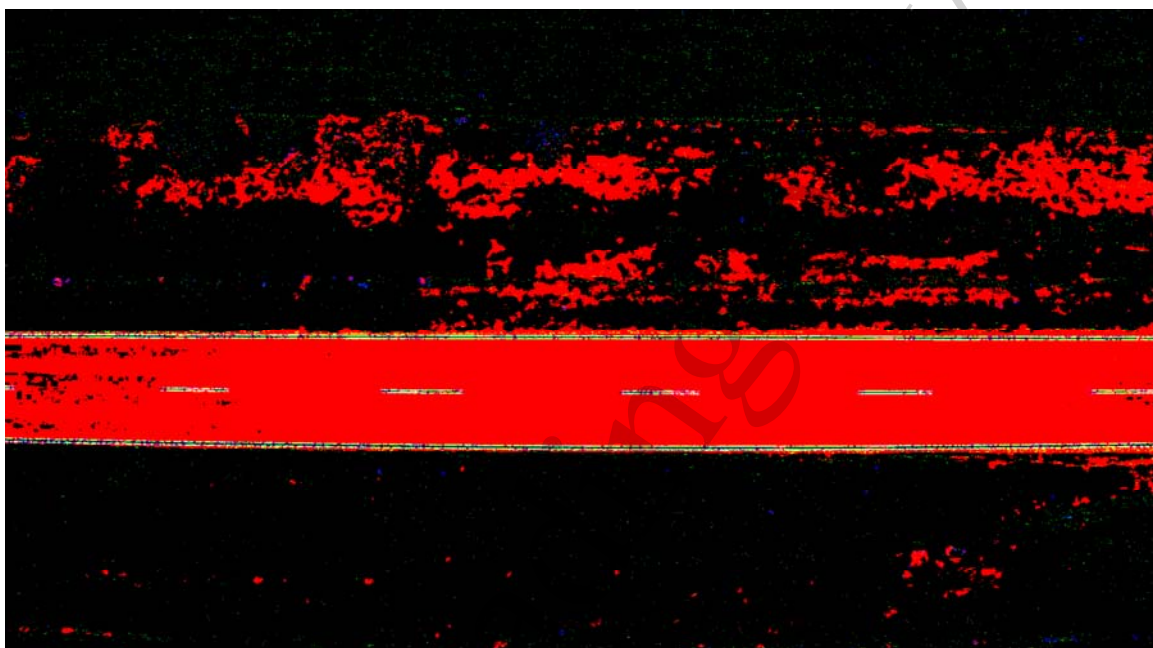


Рис. 5. Композитне накладення фільтрів

Створений «комбінований» фільтр, що поєднує всі три методи фільтрації, описані вище, застосовується для відбору тільки тих точок зображення, які задовольняють вимогам або фільтру за значеннями проекцій градієнта або фільтру за напрямком і магнітудою градієнта. І додатково ці точки мають задовольняти вимоги фільтру за кольором. Надалі метод працює з результатами комбінованої фільтрації.

Для підвищення якості та точності роботи на наступному кроці відбувається фільтрування шуму на бінарному зображенні.

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 підраховується кількість білих точок, які входять у апертуру кожної білої точки. Правило прийняття рішення, за яким приймається рішення про значення елемента (пікселя) вихідного зображення звучить так: якщо кількість білих точок у обраній апертурі менша встановленого порогового значення, то базовий піксель визначається, як шум, та видаляється

із зображення. В даному випадку для програмної реалізації апертура фільтру шуму дорівнює 13, порогове значення фільтра шуму дорівнює 19.

На рис. 6 зображено результати застосування маски, побудованої на основі комбінованого фільтру. Також до зображення додатково застосований фільтр видалення шуму.

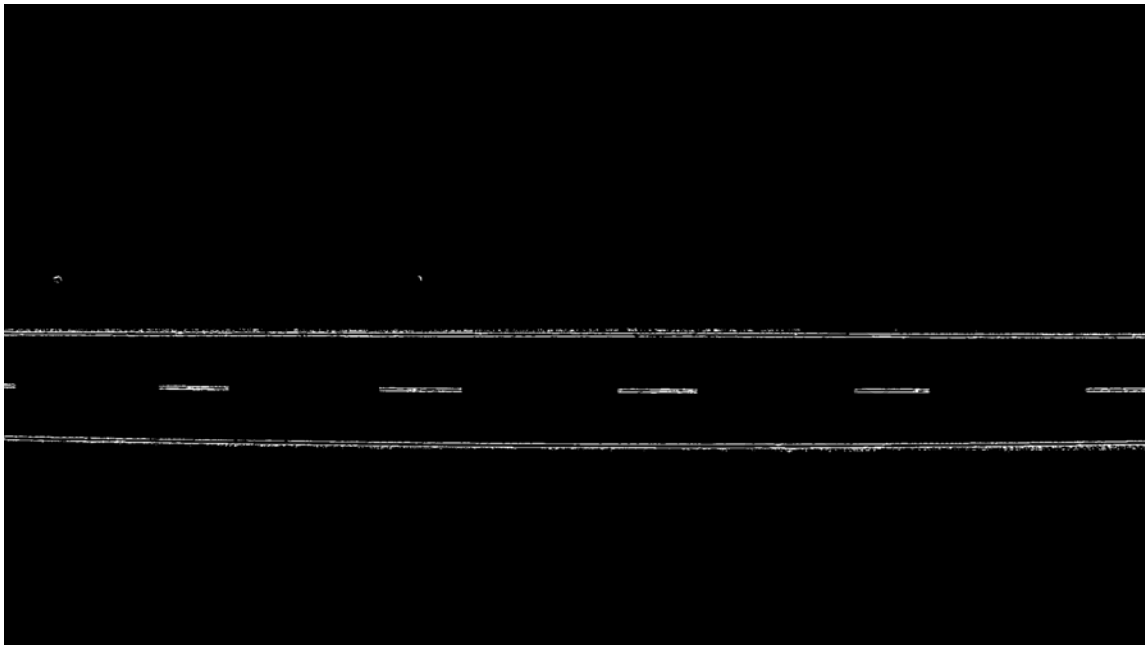


Рис. 6. Відфільтроване зображення

Фільтрація зображення є важливим аспектом при виділенні контурів. Наявність зайвих даних на зображенні може позначитись на швидкодії роботи методу. В свою чергу втрата деталей зображення, що негативно впливає на точність роботи методу. Запропонований комбінований фільтр видалення шуму на бінарному зображенні дає змогу якісно виконати очищення зображення від наявного шуму. Результати проведених досліджень показали, що при застосуванні запропонованого фільтру вдається видалити до 80 % шуму та зайвих деталей на зображенні. Такі дані отримані шляхом підрахунку і порівняння кількості білих пікселів на бінарному зображенні, які приймаються за шум, до та після фільтрації.

5. 2. Метод виокремлення контурів кластеру точок із застосуванням гістограм

Надалі буде розглянуто роботу методу безпосередньо для випадку виявлення розмітки дорожнього покриття для подальшого аналізу її стану.

Побудоване зображення (рис. 6) є растровим. Для побудови кількісних та якісних оцінок, як правило, необхідно згенерувати векторну інформацію: сегменти контурів об'єктів, межі окремих елементів зображення (об'єктів).

На наступному етапі виокремлення границь кластеру точок із застосуванням гістограм визначається вісь по якій в подальшому буде побудована гістограма та будуть виконуватися подальші операції. Для цього будуються гістограми по осям OX і OY зображення, які визначають кількість білих точок (пікселів)

в кожній колонці і в кожному рядку зображення відповідно. Надалі для кожної з побудованих гістограм обирається N максимальних і мінімальних значень і обчислюється середнє мінімальне і мінімальне значення для гістограми. В якості обраної осі метод виділяє ту, яка має найбільшу різницю між середніми максимальним і мінімальним значенням, тобто, гістограму з найбільшим діапазоном значень.

Наступний етап виокремлення границь розділяє зображення на полоси вздовж обраної осі за допомогою вікна шириною l . Наприклад, для зображення на рис. 7 обрана вісь, по якій будується гістограма – вісь OY . По осі OX відкладається вікно шириною l і для цього вікна будується гістограма по осі OY . Аналізуючи отриману гістограму можна виокремити позиції на осі OY , де починаються і закінчуються об'єкти інтересу. Потім відбувається зсув вікна на відстань $l/2$ та повторюються кроки, починаючи з побудови гістограм. Метод працює до моменту поки не охопить все зображення (досягне правого краю зображення). В результаті у кожній полосі вікна отримано об'єкти шириною l . Об'єднання сукупності цих об'єктів визначає фінальний об'єкт інтересу на зображенні.

Отже, в даному випадку для програмної реалізації значення ширини смуги l , в якій будується гістограма, дорівнює 120. А порогове значення гістограми дорівнює 25. Алгоритм сканує побудовану гістограму: при перевищенні порогового значення гістограми алгоритм визначає початок об'єкта інтересу в даній смугі. Якщо значення гістограми падає нижче порогового значення, то алгоритм фіксує кінцевий контур об'єкта в даній смугі. Таким чином визначається контур розташування об'єкта в даній смугі.

Отримані дані можуть бути в подальшому використані для кількісного та якісного опису об'єкта інтересу.

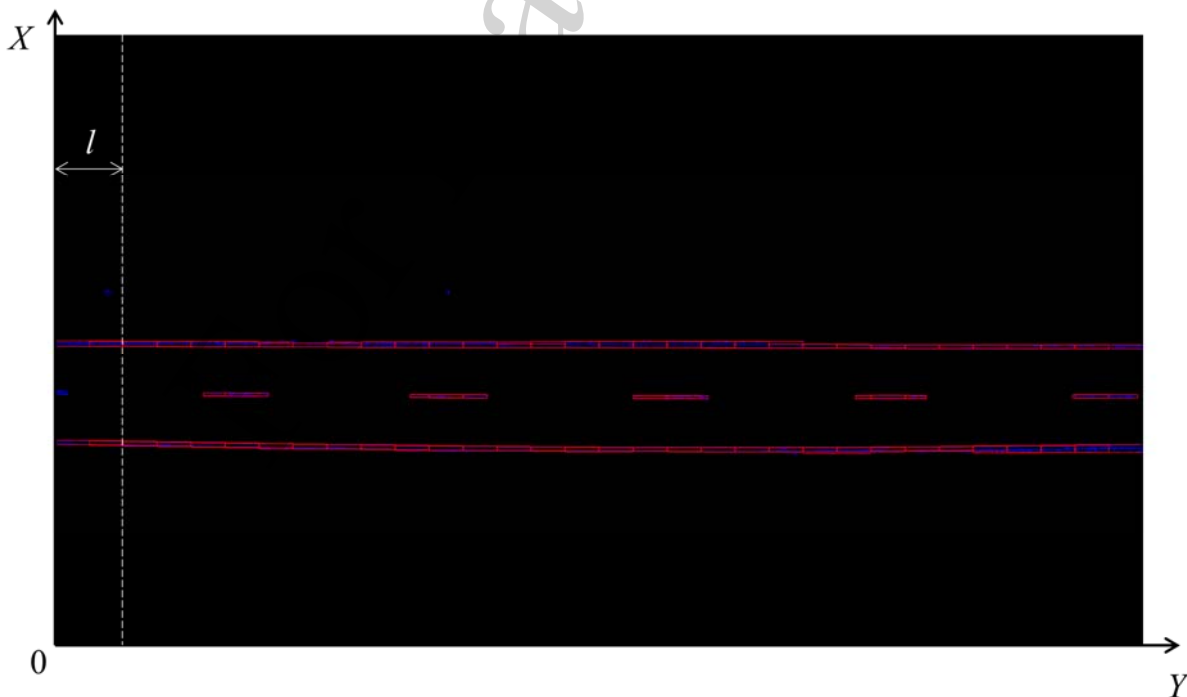


Рис. 7. Виокремлення границь об'єктів для сегментів ліній

Виділені зони характеризують особливості розмітки дорожнього покриття і можуть застосовуватись в подальшому для вироблення і прийняття обґрунтованих рішень по підтримці задовільного стану розмітки дорожнього покриття тощо.

Для доказу роботоспроможності отриманого результату на рис. 8 наведено результати, отримані із застосуванням існуючого ймовірнісного методу перетворення Хафа до зображення на рис. 6.

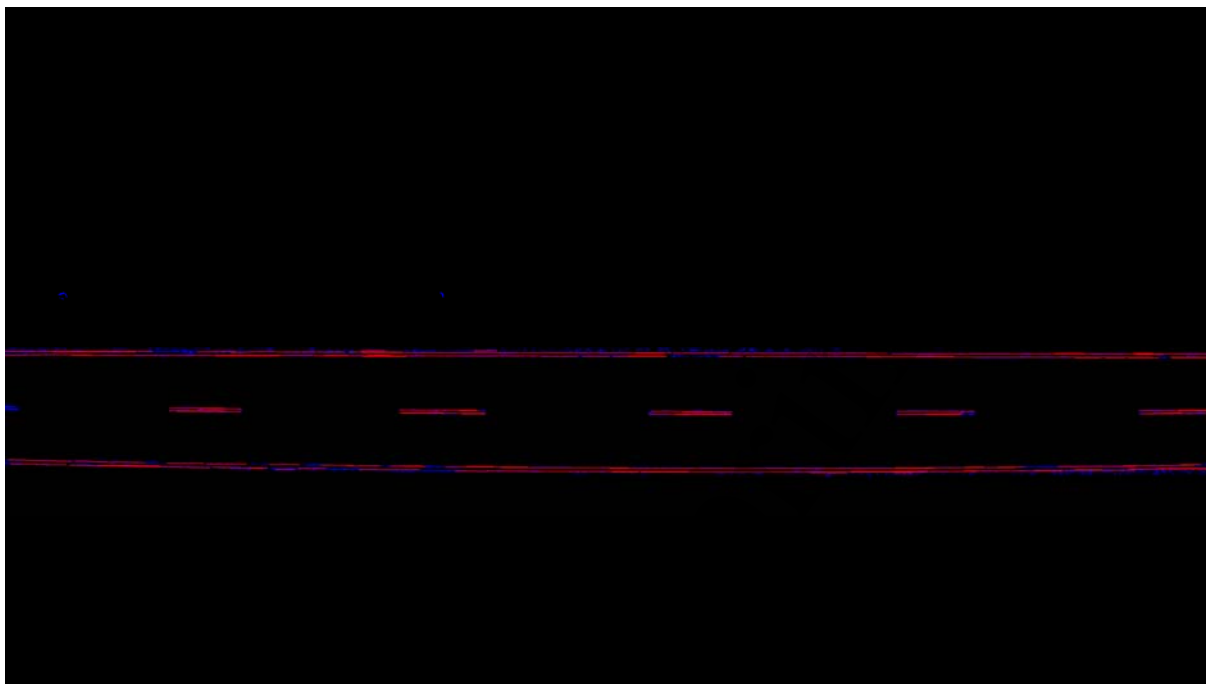


Рис. 8. Знаходження сегментів ліній на основі ймовірнісного методу перетворення Хафа

Отримані методом Хафа результати є незадовільними та малоприматними для подальшої обробки, оскільки виділені сегменти не відображають якісних та кількісних показників об'єктів інтересу на зображенні. Як видно з рис. 8, метод знаходить деякі лінії, що є незадовільним для їх подальшого аналізу.

Для побудови кількісних та якісних оцінок, як правило, необхідно згенерувати векторну інформацію: сегменти контурів об'єктів, межі окремих елементів зображення (об'єктів). Саме на вирішення цього питання спрямовано розроблений метод обробки зображення.

6. Обговорення результатів роботи та застосування методу обробки зображення у системах моніторингу стану транспортної інфраструктури

Для аналізу переваг запропонованих результатів доцільно навести порівняння із конкретним дослідженням [23]. Автори роботи [23] також вирішують завдання виявлення розмітки смуги руху автомобільного транспорту. Відмінністю є те, що зображення отримуються з камери, яка розташована на дошці приладів автомобіля. Для покращення результатів роботи алгоритму автори переходять до розгляду зображення «з висоти польоту птаха», що є подібним до отримання зображення з борту БПЛА. У [23] застосовуються перетворення Ха-

фа та оператор Кенні, переваги та недоліки яких вже проаналізовано. Хоча запропонована в [23] система виявляє смуги руху, є певні обмеження цього алгоритму. Зокрема алгоритм сильно залежить від попередньої обробки зображення для досягнення точності виявлення розмітки. Попередня обробка – найбільш витратний в обчислювальному відношенні етап алгоритму.

Запропонований метод обробки зображення для систем моніторингу стану транспортної інфраструктури відрізняється тим, що містить оперативний інструмент попередньої обробки зображень – комбінований фільтр. Він дає змогу скоротити час попередньої обробки зображення, приблизно на 50 % від даних, наведених у [23] на системах однакової конфігурації, навіть при роботі із зображенням більшої роздільної здатності. Це в сукупності дає приріст у 15 % швидкодії у порівнянні із застосуванням відомих методів попередньої фільтрації та обробки зображень. Запропонований підхід відрізняється від дослідження [23], де при виявленні розмітки не отримують показники для якісної або кількісної оцінки виявленої розмітки, а також застосовують чутливі до шуму на зображенні методи виявлення контурів.

Отримані результати є складовими вже діючої інформаційної технології (що включає сукупність методів, алгоритмів та програм) для динамічного моніторингу стану транспортної інфраструктури із використанням безпілотних авіаційних систем. Дана інформаційна технологія є інструментом вирішення завдань, пов'язаних з одним із пріоритетних напрямків – моніторингу якості виконання дорожніх робіт.

Розвиток та вдосконалення безпілотних авіаційних технологій та технологій дистанційного зондування може забезпечити якісний моніторинг стану транспортної інфраструктури на загальнодержавному рівні. Новітні технології мають слугувати безпечному та високоефективному функціонуванню транспортної системи. Йдеться про функціонування найважливіших транспортних галузей держави: автомобільного, залізно-дорожнього та водного транспорту, нафтогазопроводів та електромереж тощо.

В Україні успішно розробляють безпілотні авіаційні комплекси. Однією із найперспективніших розробок є тактичний безпілотний авіаційний комплекс «Spectator-M1». Інтелектуальну інформаційну технологію динамічного моніторингу стану транспортної інфраструктури розміщено на базі саме цього комплексу. Запропонований метод пройшов апробацію на Відкритому акціонерному товаристві «Меридіан» (Київ, Україна) під час випробувань інформаційної технології динамічного моніторингу стану транспортної інфраструктури.

Отримані результати можуть бути в подальшому використані для науково-технічних досліджень у сфері створення технологій динамічного моніторингу. Результати дадуть змогу створювати нові високоякісні засоби повітряного динамічного моніторингу наземних об'єктів з використанням апаратної частини відносно низької вартості. Також можливе використання розробки для проведення досліджень у сфері дослідно-конструкторської розробки БПЛА.

Обмеженнями запропонованого методу є те, що алгоритм фільтрації зображення не є універсальним для вирішення завдання моніторингу будь-якої інфраструктури. Іноді відбуваються незначні похибки при побудові гістограми,

що характеризує дорожню розмітку, на заокруглених ділянках дороги при погіршенні рівня освітленості.

Подальший розвиток дослідження передбачає підвищення рівня універсальності розробленого методу для можливості його застосування для моніторингу інфраструктури різного виду (наприклад, ліній електропередачі, трубопроводів, залізничних колій тощо).

Відповідно до проведених досліджень, для вирішення завдання виділення контурів дорожньої розмітки на зображеннях, отриманих від БпЛА або дрона, розроблений метод має ряд переваг та усуває недоліки відомих методів.

7. Висновки

1. Розроблений комбінований фільтр видалення шуму на бінарному зображенні на відміну від існуючих працює у кольоровому просторі HSL. Це дає змогу якісно виконати очищення зображення від наявного шуму. Результати проведених моделювань показали, що при застосуванні запропонованого фільтру вдається видалити до 80 % шуму на зображенні.

2. Метод виокремлення контурів кластеру точок із застосуванням гістограм відрізняється тим, що для вирішення задачі контролю стану дорожньої розмітки виділені сегменти відображають якісні та кількісні показники об'єктів інтересу на зображенні. Це дає змогу вирішувати поставлені завдання на рівні людини-експерта в даній області і забезпечувати достатню надійність і точність прийняття рішень. Також під час проведення випробувань було зафіксовано підвищення швидкодії виконання методу понад 15 % у порівнянні із застосуванням відомих методів бібліотек комп'ютерного зору.

Література

1. Козуб, А. М., Суворова, Н. О., Чернявський, В. М. (2011). Аналіз засобів збору інформації для географічних інформаційних систем. Системи озброєння і військова техніка, 3 (27), 42–47. URL: http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/1876/soivt_2011_3_12.pdf
2. Березина, С. И., Блиничкин, К. В. (2014). Автоматизация процесса отбраковки данных, полученных с беспилотных летательных аппаратов. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 1 (14), 82–89. URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Nitps_2014_1_20.pdf
3. Weiss, M., Baret, F. (2017). Using 3D Point Clouds Derived from UAV RGB Imagery to Describe Vineyard 3D Macro-Structure. Remote Sensing, 9 (2), 111. doi: <https://doi.org/10.3390/rs9020111>
4. Li, C., Miller, J., Wang, J., Koley, S. S., Katz, J. (2017). Size Distribution and Dispersion of Droplets Generated by Impingement of Breaking Waves on Oil Slicks. Journal of Geophysical Research: Oceans, 122 (10), 7938–7957. doi: <https://doi.org/10.1002/2017jc013193>
5. Gritsenko, V., Volkov, O., Bogachuk, Y., Gospodarchuk, O., Komar, M., Shepetukha, Y., Volosheniuk, D. (2020). Intellectual Control, Localization and

Mapping in Geographic Information Systems Based on Analysis of Visual Data. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2020 (2 (200)), 41–58. doi: <https://doi.org/10.15407/kvt200.02.041>

6. Волков, О. Є., Богачук, Ю. П., Комар, М. М., Волошенко, Д. О. (2020). Дворівнева технологія інтелектуального застосування бортової відеокамери безпілотних літальних апаратів для моніторингу геопросторових даних. *Наукоємні технології*, 47 (3), 329–341. doi: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.47.14873>

7. Barrile, V., Meduri, G. M., Critelli, M., Bilotta, G. (2017). MMS and GIS for Self-driving Car and Road Management. *Lecture Notes in Computer Science*, 68–80. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62401-3_6

8. Liu, W., Zhang, Z., Li, S., Tao, D. (2017). Road Detection by Using a Generalized Hough Transform. *Remote Sensing*, 9 (6), 590. doi: <https://doi.org/10.3390/rs9060590>

9. Mukhopadhyay, P., Chaudhuri, B. B. (2015). A survey of Hough Transform. *Pattern Recognition*, 48 (3), 993–1010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2014.08.027>

10. Marzougui, M., Alasiry, A., Kortli, Y., Baili, J. (2020). A Lane Tracking Method Based on Progressive Probabilistic Hough Transform. *IEEE Access*, 8, 84893–84905. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2991930>

11. Mammeri, A., Boukerche, A., Tang, Z. (2016). A real-time lane marking localization, tracking and communication system. *Computer Communications*, 73, 132–143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2015.08.010>

12. Yan, X., Li, Y. (2017). A method of lane edge detection based on Canny algorithm. 2017 Chinese Automation Congress (CAC). doi: <https://doi.org/10.1109/cac.2017.8243122>

13. Lee, C., Moon, J.-H. (2018). Robust Lane Detection and Tracking for Real-Time Applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19 (12), 4043–4048. doi: <https://doi.org/10.1109/tits.2018.2791572>

14. Bouganssa, I., Sbihi, M., Zaim, M. (2019). Laplacian Edge Detection Algorithm for Road Signal Images and FPGA Implementation. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 9 (1), 57–61. doi: <https://doi.org/10.18178/ijmlc.2019.9.1.765>

15. AbdelAty, A. M., Elwakil, A. S., Radwan, A. G., Psychalinos, C., Maundy, B. J. (2018). Approximation of the Fractional-Order Laplacian α As a Weighted Sum of First-Order High-Pass Filters. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 65 (8), 1114–1118. doi: <https://doi.org/10.1109/tcsii.2018.2808949>

16. Chaple, G. N., Daruwala, R. D., Gofane, M. S. (2015). Comparisons of Robert, Prewitt, Sobel operator based edge detection methods for real time uses on FPGA. 2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD). doi: <https://doi.org/10.1109/ictsd.2015.7095920>

17. Ozgunalp, U. (2017). Combination of the symmetrical local threshold and the sobel edge detector for lane feature extraction. 2017 9th International

Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN). doi: <https://doi.org/10.1109/cicn.2017.8319349>

18. Dinakaran, K., Stephen Sagayaraj, A., Kabillesh, S. K., Mani, T., Anandkumar, A., Chandrasekaran, G. (2021). Advanced lane detection technique for structural highway based on computer vision algorithm. *Materials Today: Proceedings*, 45, 2073–2081. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.605>

19. Feng, Y., Rong-ben, W., Rong-hui, Z. (2008). Research on Road Recognition Algorithm Based on Structure Environment for ITS. 2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management. doi: <https://doi.org/10.1109/cccm.2008.362>

20. Синявський, В. (2019). Аналіз методів сегментації зображень. Матеріали VII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль, 171. URL: http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/30369/2/IMST_2019_Syniavskiy_V-Analysis_of_image_segmentation_171.pdf

21. Даник, Ю. Г., Проценко, М. М. (2013). Вибір колірної моделі для цифрової обробки зображень у безпілотних авіаційних системах. *Вісник ЖДТУ*, 2 (65), 43–49. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/2602/8.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

22. Roushdy, M. (2006). Comparative study of edge detection algorithms applying on the grayscale noisy image using morphological filter. *GVIP Journal*, 6 (4), 17–23. URL: https://www.researchgate.net/publication/229014057_Comparative_study_of_edge_detection_algorithms_applying_on_the_grayscale_noisy_image_using_morphological_filter

23. Muthalagu, R., Bolimera, A., Kalaichelvi, V. (2020). Lane detection technique based on perspective transformation and histogram analysis for self-driving cars. *Computers & Electrical Engineering*, 85, 106653. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106653>