

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему Обґрунтування параметрів та підвищення безпеки дорожнього руху на перехресті вулиць Кобилянського та проспекту Миру у місті Кривий Ріг

Виконав:

студент 4 курсу, групи ТТ-17 _____ В.І. Карлов

(шифр групи)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент _____

В.О.Сістук

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри:

д.т.н., професор _____

Ю.А. Монастирський

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Кривий Ріг – 2021р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 – «Транспорт»

Спеціальність: 275 – «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
автомобільного транспорту

_____/_____
”_____” 2021

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Карлова Владислава Ігоровича

1. Тема *Обґрунтування параметрів та підвищення безпеки дорожнього руху на перехресті вулиць Кобилянського та проспекту Миру у місті Кривий Ріг*

керівник проекту Сістук В.О., к.т.н., доцент

затверджені наказом університету від 21.04.2021 року № 323с.

2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат 10.06.2021

3. Вихідні дані до роботи: Навчально-методичне забезпечення з програм відеоаналізу руху DataFromSky та мікроімітаційного моделювання транспортних потоків PTV VISSIM.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд технологій збору вихідних даних про дорожній рух 2. Повітряна зйомка руху на перехресті 3. Автоматизоване відстеження транспортних засобів за допомогою комп'ютерного зору 4. Розробка мікроімітаційної моделі та аналіз результатів моделювання 5. Оцінка ефективності пропонованих рішень та охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графіки та діаграми по результатам досліджень у вигляді презентації в програмі Microsoft Office Power Point, на компакт диску з шістьма екземплярами роздруковки презентації для членів ДЕКу.

6. Дата видачі завдання 21.04.2021.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Огляд технологій збору вихідних даних про дорожній рух	21.04 -30.04	
2	Повітряна зйомка руху на перехресті	24.04	
3	Автоматизоване відстеження транспортних засобів за допомогою комп'ютерного зору	01.05 – 4.05	
4	Розробка мікроімітаційної моделі та аналіз результатів моделювання	4.05 – 14.05	
5	Оцінка ефективності пропонованих рішень та охорона праці	14.05 – 21.05	
6	Оформлення пояснювальної записки і презентації	21.05 – 27.05	

Студент

(підпис)

В.І. Карлов

Керівник роботи

(підпис)

В.О. Сістук

РЕФЕРАТ

У традиційних методах збору даних про дорожній рух (візуальне спостереження, індуктивні детектори) є багато недоліків. При їх використанні на перетинах складної форми вимагається мінімум 4-5 осіб для одночасного обстеження потоків в декількох напрямках руху. При використанні стаціонарних камер, їх потрібно фіксувати на певній висоті, що не завжди можливо. Вартість розгортання облікової системи зростає пропорційно до площі ділянки, що обстежується. У зв'язку з цим, для автоматизації даних підрахунку даних руху може бути використана технологія, яка полягає у захваті відеозапису руху одночасно у всіх напрямках, що цікавлять, за допомогою безпілотного літального апарату та подальшого інтелектуального аналізу отриманого відеозапису.

Робота присвячена обґрунтуванню параметрів та підвищення безпеки дорожнього руху на перехресті вулиць Кобилянського та проспекту Миру у місті Кривий Ріг за допомогою інтелектуального аналізу даних руху Datafromsky та мікроімітаційного моделювання у програмі VISSIM.

У роботі:

1. Проведено аналіз сучасних підходів до збору польових даних руху.
2. Проведено польове дослідження, порівнюючи використання БПЛА із традиційними інструментами збору даних дорожнього руху з метою оцінки доцільності застосування БПЛА у якості інструменту збору даних руху.
3. Вивчено додаткові способи збору вихідних даних за допомогою БПЛА, починаючи із використання матриць зародження-призначення, розробивши відповідну методологію обстежень інтенсивності руху, яка може бути використана для подальшого калібрування мікроімітаційної моделі.
4. Перевірено розроблену методологію у дослідженні руху на перехресті вулиць Кобилянського та проспекту Миру у місті Кривий Ріг.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗБОРУ ВИХІДНИХ ДАНИХ ПРО ДОРОЖНІЙ РУХ.....	8
1.1.Огляд літературних джерел	8
1.2. Традиційні методи збору даних про рух	12
1.3. Аерофотозйомка руху.....	15
1.3. Програмні засоби постоброки відеозаписів з БПЛА.....	17
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	22
2.1. Повітряна відеозйомка для визначення інтенсивності транспортного руху.....	22
2.2. Автоматизоване відстеження транспортних засобів за допомогою комп'ютерного зору	25
2.3. Розробка мікроімітаційної моделі та аналіз результатів моделювання	36
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	41
3.1. Метод визначення ефективності автоматизації підрахунку інтенсивності дорожнього руху	41
3.2. Оцінка ефективності автоматизованого відео аналізу дорожнього руху	42
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.1. Вимоги до умов польоту на БПЛА.....	44
4.2. Польоті обмеження та зони GEO	44
4.3. Рекомендації по зйомці відео.....	45
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми. У традиційних методах збору даних про дорожній рух (візуальне спостереження, індуктивні детектори) є багато недоліків. При їх використанні на перетинах складної форми вимагається мінімум 4-5 осіб для одночасного обстеження потоків в декількох напрямках руху. При використанні стаціонарних камер, їх потрібно фіксувати на певній висоті, що не завжди можливо. Вартість розгортання облікової системи зростає пропорційно до площі ділянки, що обстежується. У зв'язку з цим, для автоматизації даних підрахунку даних руху може бути використана технологія, яка полягає у захваті відеозапису руху одночасно у всіх напрямках, що цікавлять, за допомогою безпілотного літального апарату та подальшого інтелектуального аналізу отриманого відеозапису.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є обґрунтування параметрів та підвищення безпеки дорожнього руху на перехресті вулиць Кобилянського та проспекту Миру у місті Кривий Ріг за допомогою інтелектуального аналізу даних руху Datafromsky та мікроімітаційного моделювання у програмі VISSIM.

Об'єкт дослідження – програми інтелектуального аналізу даних, отриманих на основі відеоспостережень дорожнього руху.

Предмет дослідження – матриці зародження-призначення (OD-матриці) з програм інтелектуального відео аналізу даних дорожнього руху.

Задачі дослідження:

- 1.Провести аналіз сучасних підходів до збору польових даних руху.
2. Провести польове дослідження, порівнюючи використання БПЛА із традиційними інструментами збору даних дорожнього руху з метою оцінки доцільності застосування БПЛА у якості інструменту збору даних руху.
3. Вивчити додаткові способи збору вихідних даних за допомогою БПЛА, починаючи із використання матриць зародження-призначення,

розробивши відповідну методологію обстежень інтенсивності руху, яка може бути використана для подальшого калібрування мікроімітаційної моделі.

4. Перевірити розроблену методологію у дослідженні руху на перехресті вулиць Кобилянського та проспекту Миру у місті Кривий Ріг.

Методи дослідження. Аналіз, класифікація, відеообробка, декомпозиція, штучний інтелект, геореєстрація, візуальне спостереження, порівняння.

Практична цінність. Розвиток та поглиблення уявлень про сучасні методи автоматизованої обробки даних дорожнього руху за допомогою штучного інтелекту.

Структура і обсяг роботи. Робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи – 46 с. Робота містить 17 рисунків та 11 таблиць.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗБОРУ ВИХІДНИХ ДАНИХ ПРО ДОРОЖНІЙ РУХ

1.1.Огляд літературних джерел

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) використовуються в транспортній галузі в останні роки для зменшення вартості та підвищення безпеки дорожнього руху [12]. Це нова, легка, недорога технологія є придатною для використання для вирішення багатьох різних завдань, включаючи інспекції мостів, 3D-відображення та реконструкцію дорожньо-транспортних пригод [16]. БПЛА здатні збирати детальну інформацію та знімати аерофотознімки за допомогою малих зусиль і часу. В останні роки БПЛА почали бути придатними для застосування в моніторингу дорожнього руху. Їх здатність захоплювати відеозображення над проїзною частиною можна поєднувати з методами відстеження об'єктів для видобутку даних про транспортний засіб, такі як швидкість, інтенсивність руху та дані про траєкторію руху. Цей метод збору даних може бути корисним для інженерних досліджень та може заощадити час на місцях, оскільки БПЛА здатні збирати великі обсяги даних за короткий проміжок часу, ніж традиційні методи. Завдяки технології БПЛА стає можливим безперервна швидкість збору даних про дорожній рух.

Швидкість істотно впливає на стан руху на дорогах. Оскільки обмеження швидкості сприяють підвищенню безпеки дорожнього руху, вони повинні встановлюватися розумно і відповідним чином відображати довкілля та очікування водія. Якщо доступним є постійний збір даних про швидкість руху вздовж досліджуваної зони, надаючи більш детальні дані, тоді буде краще зрозуміла операційна швидкість в цій області. З вищим рівнем розуміння, очікується, що отримані дані призведуть до обмежень швидкості, які є ефективнішими та сприятимуть підвищенню безпеки. Загалом, використання БПЛА для швидкого збору даних у процес вироблення рішення

про обмеження швидкості, що може покращити безпеку та підвищити ефективність для державних органів, відповідальних за цей процес.

Традиційно обмеження швидкості на нещодавно побудованих дорогах встановлюються з проекту організації руху для даного відрізка проїжджої частини. Як правило, багато обмежень швидкості залишаються незмінними з часу первинного будівництва, але згодом параметри обмеження швидкості вже не відповідають поточним умовам. Дослідження варіантів обмеження швидкості проводяться по-різному, в тому числі на основі скарг громадськості або шляхом розслідування дорожньо-транспортних пригод.

Відомо, що обмеження швидкості залежить від чотирьох факторів: проектної швидкості, робочої швидкості автомобіля, досвіду безпеки та досвіду застосування. Проектна швидкість розповсюджується на більшу частину проїжджої частини. Вона не завжди відповідає фактичній робочій швидкості на проїжджій частині.

Робоча швидкість транспортних засобів враховується в діапазоні 85-х процентильних швидкостей, взятих з різних оглядових точок проїзної частини. 85 процентиль швидкості широко визнаний як найбільш використовуваний аналітичний метод для вибору обмеження швидкості, оскільки він включає швидкість руху багатьох ТЗ, а точніше 85% транспортних засобів на проїжджій частині, не перевищуючих заданого ліміту.

У теперішній час дані про швидкість руху збираються за допомогою радару або лідару на узбіччі проїжджої частини у будній день у пікові години за ідеальних погодних умов. Ці пристрої можуть визначати швидкість лише в окремій точці вздовж проїжджої частини. В ідеалі ці спостереження проводитимуться постійно у пропонуваній зоні швидкості. У кожному місці дослідження повинно бути не менше 100 і більше спостережень за швидкістю, яка записується в кожному напрямку; на дорогах із низьким обсягом руху спостереження можуть закінчитися за дві години, якщо це значення не досягнуто.

Залежно від кількості місць для обстеження, це може бути трудомістким і дорогим процесом. Самі лідари коштують від 2000 до 3000 доларів [17]. Як можливий приклад, для 5-кілометрової ділянки проїжджої частини з інтенсивністю 750 одиниць на годину, дані потрібно буде збирати у 20 місцях. У кожному з цих місць спостерігачу доведеться вручну використовувати лідар для реєстрації швидкості транспортного засобу, а потім записувати дані у бланк обстеження. У цих конкретних дорожніх умовах припускаючи, що половина транспортних засобів рухається зі швидкістю вільного потоку (375 одиниць на годину), щонайменше 100 транспортних засобів спостерігачу необхідно зібрати за 16 хвилин.

Однак не тільки швидкість руху транспортних засобів, що йдуть у колоні, а й у різних напрямках потрібно одночасно зібрати. Враховуючи це, передбачається, що для цього спостерігачу знадобиться приблизно 20 хвилин для збору даних в одному місці. Помноживши це на 20 місць, спостерігачу знадобиться приблизно 6,7 години для простого збору даних, достатніх для цього типу дослідження. Зазначається, що цей час не включає час проїзду між місцями розміщення облікових точок та заповненням зведених бланків для кожної локації. Після збору даних у польових умовах, їх потрібно перевести у цифрову форму, що займатиме приблизно 4 години. Таким чином, для процесу збору даних про швидкість руху автомобіля на локаціях потрібно приблизно 11 робочих годин.

Для кожного дослідження на місцях повинен бути “Робочий аркуш розподілу швидкості руху”, заповнений наступною інформацією: швидкість з 95-го перцентилем; швидкість з 85-го перцентилем; швидкість з 50-им перцентилем; тип транспортного засобу. Крім того, повинен бути “Зведений аркуш контролю швидкості”, підготовлений в кожному місці дослідження, що вимагає даних про всі існуючі умови руху та обмеження, які слід зазначити та відобразити, включаючи повороти проїзної частини, ухил (якщо відомо), інтенсивність руху, бічні вулиці та основні під’їзні шляхи, а також сусіднє землекористування.

Традиційно в методах збору даних про швидкість використовується точкова фіксація швидкості. Пристрої фіксації точкової швидкості, такі як радар та лідар, індуктивні петлі можуть збирати лише дані про швидкість у певній точці вздовж проїжджої частини [18]. Як описано вище, процес встановлення обмеження швидкості вимагає повного аналізу існуючої робочої швидкості вздовж досліджуваної ділянки дороги у кількох точках уздовж проїжджої частини.

Крім того, безперервний збір даних може забезпечити нові можливості в процесі встановлення обмеження швидкості, такі як визначення конкретних місць, де обмеження швидкості має змінюватися. Сьогодні програми для смартфонів та GPS-пристрої здатні захоплювати ці дані; однак недоліком такого типу збору даних є те, що він не є цілком підходящим для обмеження швидкості вільного потоку, оскільки бракує інформації, пов'язаної з часом між транспортними засобами у потоці [11].

Оскільки пристрої такого типу дозволяють збирати дані про швидкість лише в одній точці вздовж проїжджої частини, може бути зібрана лише для середньої за часом швидкості. Відповідно до [6], середня швидкість є «середнім арифметичним швидкості усіх транспортних засобів протягом певного періоду часу». Це відрізняється від середньозваженої швидкості, яка визначається як «середньої швидкості транспортних засобів, що їдуть даним відрізком проїжджої частини протягом визначеного періоду часу і обчислюється із використанням середнього значення часу та довжину проїзду для сегменту проїжджої частини».

Обмеження швидкості часто викликають зацікавлення та суперечки в громаді. FHWA відображає цей аспект у своєму звіті «Методи та практики встановлення обмежень швидкості: Інформаційний звіт», зазначивши [7]: «Вибір відповідного обмеження швидкості для конкретного об'єкта може бути питанням поляризації для громади. Жителі та вразливі учасники дорожнього руху, як правило, прагнуть нижчого рівня швидкості для підвищення якості життя громади та підвищення рівня безпеки пішоходів та велосипедистів;

автомобілісти прагнуть вищих швидкостей, які мінімізують час у дорозі. Незважаючи на суперечки оточуючих граничних обмежень швидкості, очевидно, що загальною метою встановлення обмеження швидкості майже завжди виступає підвищення безпеки в контексті збереження розумної мобільності».

У власному посібнику щодо процедур швидкісного зонування це твердження згадується для посилення встановлення обмеження швидкості, що є непростим завданням. Таким чином, оскільки багато аварій спричинені перевищенням швидкості, як описано в цьому розділі, встановлення обмеження швидкості має бути зроблено з обережністю, щоб в кінцевому підсумку створити найбезпечніше дорожнє середовище.

1.2. Традиційні методи збору даних про рух

До групи методів обстеження транспортних потоків є технології, по'язані із вимірюванням даних дорожнього руху «на місцях» із використанням детекторів транспорту, розташованих вздовж узбіччя дороги. Технології підрахунку даних дорожнього руху можна розділити на інтрузивні та неінтрузивні. Інтрузивні методи складаються зазвичай із записувача даних та датчика, розташованого на/в дорозі. Використовувались протягом багатьох років. До найважливіших інтрузивних методів можна віднести ті, що приведені нижче.

Пневматичні дорожні труби: гумові трубки розміщуються через дорожні смуги для виявлення транспортних засобів за рахунок перепадів тиску, що виникає при проходженні шини транспортного засобу над трубкою. Створений імпульс повітря реєструється та обробляється лічильником, розташованим на узбіччі дороги. Основним недоліком цієї технології є те, що вона має обмежене покриття смуги руху та її ефективність вкрай залежить від погоди, температури та умов руху. Дана система також може бути неефективною для вимірювання транспортних потоків з низькою швидкістю.

П'єзоелектричні датчики: розміщені в канавці вздовж поверхні проїжджої частини дороги на смузі, що відстежується. Принцип полягає в перетворенні механічної енергії в електричну. Дійсно, механічна деформація п'єзоелектричного матеріалу модифікує поверхневу щільність заряду матеріалу так, що між електродами можлива різниця. Амплітуда і частота сигналу прямо пропорційні ступеню деформації. Ця система може бути використана для вимірювання ваги та швидкості.

Магнітні петлі: найбільш розповсюджена технологія, яка використовується для збору даних про дорожній рух. Петлі вбудовані в проїзну частину в квадратну формацію, яка генерує магнітне поле. Потім інформація передається на лічильник, розміщений збоку дороги. Технологія характеризується невеликим строком експлуатації, оскільки магнітна петля може бути пошкоджена вантажівками. Також значними можуть бути витрати на впровадження та обслуговування датчиків такого типу.

Неінтрузивні методи базуються на віддалених спостереженнях. Навіть при найчастіше використовуваному методі ручного підрахунку інтенсивності руху, з'являються нові технології, які видаються дуже перспективними.

Візуальне спостереження: найбільш традиційний метод. У цьому випадку навчені спостерігачі збирають дані про дорожній рух, які не завжди неможливо отримати ефективно за допомогою автоматизованого підрахунку, наприклад інформацію про заповнюваність транспортного засобу, виявлення пішоходів та класифікація транспортних засобів. Найпоширенішим обладнанням є паперові табельні аркуші або мобільні додатки.

Пасивний та активний інфрачервоний датчик: ними виявляється присутність, швидкість та тип транспортних засобів на основі інфрачервоного випромінювання. Основні недоліки: низька продуктивність під час негоди та обмежене покриття смуг руху.

Пасивні магнітні датчики: магнітні датчики закріплені під або поверх дорожнього полотна. Вони підраховують кількість транспортних засобів, їх

тип і швидкість. Однак в робочих умовах датчики мають труднощі з розрізненням близько розташованих транспортних засобів.

Мікрохвильовий радар: технологія може виявляти транспортні засоби, що рухаються, і швидкість (Доплерівський радар). Він реєструє дані, що підлягають підрахунку, виявляє швидкість та класифікацію транспортних засобів незалежно від погодних умов.

Ультразвукові та пасивно-акустичні датчики: пристрої випромінюють звукові хвилі для виявлення транспортних засобів, вимірюючи час повернення сигналу до пристрою. Ультразвукові датчики розташовуються над смугою руху і на них може впливати температура або негода. Пасивні акустичні пристрої розміщені вздовж дороги і можуть збирати кількість транспортних засобів, швидкість та класифікаційні дані. На них також можуть впливати погані погодні умови (наприклад, низька температура, сніг).

Відеоспостереження: відеокамери фіксують номери, тип та швидкість автомобіля за допомогою різних відеотехнік. Система може бути чутливою до метеорологічних умов.

Плаваючі стільникові дані (floating cellular data - FCD) [7]. Принцип FCD полягає у збиранні даних про дорожній рух в режимі реального часу шляхом локалізації автомобіля за допомогою мобільного телефону або GPS по всій дорожній мережі. Це означає, що кожен транспортний засіб, оснащений мобільним телефоном або GPS, діє як датчик для дорожньої мережі. Такі дані, як розташування автомобіля, швидкість та напрямок руху анонімно надсилаються до центрального процесорного центру. Після збору та вилучення корисна інформація (наприклад, стан руху, вибір маршруту) може бути перерозподілена водіям у дорозі.

FCD є альтернативним, а точніше доповнюючим джерелом високоякісних даних до існуючих технологій, яке допомагає поліпшити безпеку, ефективність та надійність транспортної системи. Вони стають вирішальними у розробці нової інтелектуальної транспортної системи. Зосереджуємось на технології FCD, що базується на даних стільникових та

GPS-зондів. Інша категорія методів збору «в-транспортному засобі» відноситься до методів ідентифікації автомобільних транспортних засобів. У цьому випадку транспортні засоби відслідковуються у фіксованому місці за допомогою електронних транспондерів (міток), які зчитуються, коли вони проходять повз датчики. Ця технологія у даній роботі не обговорюється, але широко висвітлюється в літературі [11, 12, 13].

1.3. Аерофотозйомка руху

Для збору більш детальної інформації в конкретному місці можуть бути встановлені відеокамери, розміщені для запису руху на проїжджій частині. Ці пристрої використовуються разом із процесорними системами відеоспостереження для виявлення транспортних засобів, а також конкретних показників руху, таких як швидкість. Процесори послідовно аналізують відеокадри для вилучення цих необхідних даних за допомогою алгоритмів штучного інтелекту та відстеження об'єктів. Відстеження об'єктів у відео часто поділяють на три окремі області: цільове представлення, цільове виявлення / розпізнавання та відстеження цілей. Кожен із цих трьох компонентів описаний детальніше в цьому розділі.

Для того, щоб мати можливість точно виявити та відстежити об'єкт, що цікавить, система повинна зрозуміти, що вона шукає. Цього можна досягти за допомогою вилучення ознак об'єкту, яке відіграє важливу роль у відстеженні. Загальні візуальні особливості, що використовуються в цих алгоритмах, включають колір, межі об'єктів, оптичний потік та текстуру. Використовуючи ці ознаки, метою цільового представлення є створення моделі об'єкта, що цікавить. Ця модель включає зовнішній вигляд, розмір та форму об'єкта, а також деякі визначні особливості, отримані в процесі вилучення ознак у кожному зображенні, яке ігнорує зайвий фон на зображенні. Цю модель можна створити, виділивши об'єкти на декількох тисячах зображень об'єкта з певної

точки зору, або можна вибрати автоматично в режимі онлайн або користувачем у відеоряді.

Розпізнавання цілі – це процес виявлення цільового об'єкта в конкретній сцені. Для точного виявлення об'єкта необхідно використовувати модель, створену в процедурі цільового представлення, та визначити метрику пошуку та критерії відповідності, щоб знайти цю модель за її особливостями у відеокадрі. Цей критерій пошуку відокремлює фон від об'єкта в одному відеокадрі, що робиться на кожному кадрі, причому кожен кадр вважається по одному. Деякі детектори більш високого рівня використовують просторову інформацію між кількома кадрами для виявлення об'єкту, що зменшує кількість помилкових класифікацій.

Відстеження цілей – це процес оцінки місцезнаходження конкретної цілі протягом певного періоду. Існує декілька типів відстеження, включаючи точкові, ядерні та силуетні. Зокрема, ядра-відстеження зазвичай використовуються для обчислення руху між кадрами. Ці відстеження покладаються на зовнішній вигляд та форму об'єкта. Точкові відстеження для порівняння об'єктів між сусідніми кадрами, описаними визначеними точками. Для цього типу відстеження для вилучення точок у кожному кадрі повинен застосовуватися метод виявлення.

Більшість нестационарних пристроїв відеоспостереження, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА), припускають плоский світ, і що візуальна одометрія є поступальною (метод оцінки стану і орієнтації робота або іншого пристрою за допомогою аналізу послідовності зображень, знятих встановленою на ньому камерою.). На щастя, оскільки БПЛА здатні записувати відео на відносно невеликій висоті, припущення про плоский світ має місце майже у всіх випадках. Друге припущення, що візуальна одометрія є поступальною, вірно, коли між кадрами відбувається мінімальне обертання на рівні ознак. Одометрія визначається як «будь-яке оточуюче середовище спостерігача». У випадку з БПЛА в небі, це припущення, що БПЛА не буде обертатися під час запису відео для використання в процесі відстеження, тому рух об'єкта можна

класифікувати як суто поступальний. Кожне з цих припущень спрощує обробку, необхідну для стабілізації відео БПЛА, а також показує важливість стабілізації відео під час його зйомки. Це можна мінімізувати, виконуючи польоти на БПЛА, лише за гарних погодних умов. Щоб точно врахувати фактор вітру, рух транспортного засобу, який відстежується БПЛА, обчислюється як сума реального руху автомобіля та руху камери.

Стабілізація БПЛА і камери для точного запису є важливою проблемою, яку слід вирішити при використанні БПЛА для відстеження об'єктів, оскільки навіть невелика сила вітру може призвести до великої помилки на землі. Стабілізація камери на БПЛА може бути досягнута за три етапи: використання карданного підвісу, завершення відеоаналізу за допомогою стабілізаційного фільтра та відстеження нерухомого об'єкту для всього відеоряду. Більшість БПЛА мають кардан для стабілізації відео. Це дозволяє обертати камеру навколо однієї осі, зменшуючи рух при наведенні. Фільтр стабілізації усуває тремтіння камери, роблячи панорамування, обертання та масштабування більш плавними. Нарешті, відстеження нерухомого об'єкта по всьому відеоряду дозволяє враховувати помилки внаслідок руху камери та БПЛА, дозволяючи розрахувати різницю між нерухомим об'єктом та об'єктом, що цікавить; таким чином, рух лише об'єктів, що цікавлять, може бути відокремленим. На цьому завершено через аналіз кожного відеокадру; у кожному кадрі різниця між координатами цього конкретного нерухомого об'єкта можуть бути застосовані до іншого об'єкта, який відстежується. Цей останній крок є способом вважати, що рух транспортного засобу, який відстежується БПЛА, є сума реального руху транспортного засобу та руху камери.

1.3. Програмні засоби постоброби відеозаписів з БПЛА

Однією з компаній, яка використовує оброблені БПЛА відео-аерофотознімки для обробки даних про рух є DataFromSky, компанія, що

базується в Чеській Республіці [3]. Їх система вимагає лише аерофотозйомки та опису місця події, щоб забезпечити траєкторію руху кожного виявленого транспортного засобу на відео. Потім ці транспортні засоби позначаються на відео унікальним ідентифікатором разом із записом про положення, швидкість та прискорення автомобіля. DataFromSky також може аналізувати траєкторії автомобілів для розрахунку характеристик потоку руху, які визначені в HCM [3]. Крім того, DataFromSky здатна підтримати забезпечення прийняття, відстаней між транспортними засобами, оцінки пропускну здатності, середньої швидкості та кількості автомобілів, що пройшли у конкретному напрямку. DataFromSky співпрацює з багатьма компаніями та закладами освіти, включаючи Криворізький національний університет, а також з PTV Group. Платформа дозволяє експортувати результати до PTV Vissim, включаючи підрахунок трафіку, класифікацію транспортних засобів, рухи на повороті, швидкості для калібрування моделі прискорення, час руху (визначається між двома лічильниками) та транспортний зазор, виражений у секундах. Можливості DataFromSky у частині використання БПЛА для моніторингу руху є великими.

БПЛА, включаючи великі БПЛА, історично використовувались для військових цілей. Однак, з комерціалізацією та зменшенням вартості та розміру БПЛА за останні роки потенційне використання цих пристроїв зросло. БПЛА складаються з трьох компонентів: літака; зв'язок та контроль; та пілот на землі. Існує два типи БПЛА: нерухоме крило та багатороторні. БПЛА з фіксованим крилом має літакоподібну конструкцію, підйомник, що генерує повітря, що проходить знизу, а мультироторний БПЛА має кілька роторів з гвинтами, які штовхають повітря вниз. Хоча конструкція фіксованого крила дозволяє збільшити час польоту, літак повинен завжди рухатися вперед з певною мінімальною швидкістю, щоб забезпечити достатню кількість підйому, щоб залишатися в повітрі. Крім того, літакам із фіксованим крилом потрібне велике відкрите місце для взльоту і посадки. Враховуючи ці недоліки, які не впливають на багатороторні літаки, мультироторний літак

рекомендується використовувати для збору даних, особливо для збору даних про швидкість.

В останні роки БПЛА були представлені транспортній спільноті як ефективне рішення для збору даних про траєкторію та заміни старого підходу до використання позиційних камер. У таблиці 1.1, представлено суб'єктивне порівняння використання статичної камери та БПЛА для моніторингу дорожнього руху та інші відповідні програми, на основі досліджень, знайдених у літературі.

Табл.1.1

Порівняння експлуатаційних показників двох технологій для моніторингу дорожнього руху

Показник	Статична камера	БПЛА
Безпека/приватність	Середня	Мала
Витрати (експлуатаційні)	Малі	Малі
Відновлюваність	Мала	Велика
Енергетична ефективність	Мала	Велика
Складність розгортання	Мала	Мала
Операційний час	Великий	Малий
Операційний час у складних погодних умовах	Середній	Малий
Ризики безпеки	Малі	Середні
Витривалість	Висока	Мала
Навички, необхідні для постобробки відео	Середні	Великі
Передача та зберігання даних	Мала	Велика
Необхідні робочі навички	Мала	Середні
Необхідність тренування	Мала	Середня
Складність	Середня	Середня

Більшість багатороторних БАС мають можливість збирати великі обсяги повітряних даних де завгодно за лічені хвилини. Крім того, БПЛА можна запрограмувати на автоматичний політ на конкретний маршрут для збору конкретних аерофотознімків, що створює простоту в процесі польоту для пілота. Їх невеликий розмір також корисний для збору натуралістичних даних над проїжджими частинами, що дозволяє забезпечити більш ненав'язливий спосіб запису даних про дорожній рух. Однак, заслуговує на увагу обмеження щодо багатороторних БПЛА. Це мала ємність їх

аккумулятора, яка дозволяє лише літати на короткі періоди часу; часто лише на 20-30 хвилин. Однак за умови, що БПЛА пролетить над дорогою і набере дані про швидкість багатьох транспортних засобів одночасно, це стає можливо відносно легко збирати більше даних про рух коротший проміжок часу, ніж традиційні методи.

Відомі рекомендації вимагають зібрати набір 100 швидкостей автомобіля протягом робочого дня у пікові години в окремому місці на проїжджій частині для процесу встановлення обмеження швидкості, як згадано вище. Залежно від транспортного навантаження в пікову годину, забирати дані за допомогою БПЛА не займає багато часу, особливо в порівнянні з ручним збором або з використанням радарів.

Зазначається, що для місцеположень із справді невеликим обсягом даних для збору за допомогою БПЛА може не дати суттєвих переваг перед традиційним придорожнім збиранням даних вручну, враховуючи, що кожен транспортний засіб рухався б зі швидкістю вільного потоку і не затуляв би інші транспортні засоби.

Дослідження з використанням БПЛА для моніторингу дорожнього руху, а також виявлення дорожньо-транспортних пригод, виконані Вонгом та Лі [13]. Використовуючи БПЛА для моніторингу дорожнього руху, важливо враховувати дозвіл збору даних та відстань вибірки наземних даних (GSD), щоб, отже, врахувати похибку точності. Найбільш основним параметром роздільної здатності є кількість пікселів записаної області; оскільки пікселі збільшуються на заданій висоті запису, а отже, при заданій фіксованій ширині датчика, яку покриває об'єктив камери, роздільна здатність збільшується. Це пов'язано з розміром пікселів; чим менше одиниця площі охоплює піксель, тим вища роздільна здатність зображення. Зменшення одиничної площі, покритої пікселем, також можна змінити, зменшивши висоту місця, де зроблено зображення. У дослідженні, завершеному в 2016 році Вонгом, встановлено, що виявлення транспортного засобу для моніторингу дорожнього руху є найбільш точним при висоті БПЛА (DJI Phantom 2 у цьому

дослідженні) в межах від 100 м до 120 м, перекриваючи ділянку дороги довжиною 190 м і 228 м відповідно. У цьому дослідженні використана камера з роздільною здатністю 1920 x 1080 пікселів та горизонтальне поле зору у 94,4 градуса, вертикальне поле зору 55,0 градусів, і діагональне поле зору 107,1 градуса. Далі, коли висота збільшена зі 120 до 150 м, точність відстеження зменшилась із приблизно від 99,8% до 96,1%. Вонг використовував певний метод для пошуку результатів точності: три функції зображення для виявлення та відстеження транспортних засобів: кромку, оптичний потік та локальну точку характеристики.

Відстань відбору проб представляє просторову роздільну здатність. Коротше кажучи, це справжня відстань між двома послідовними центрами пікселів, вимірними на землі. Чим вона більше, тим менша просторова роздільна здатність, і навпаки, відстань відбору обчислюється шляхом ділення розміру пікселя (мм) на датчику на фокусну відстань (мм) та множення на відстань від камери до землі (см).

БПЛА вже використовуються в численних транспортних дослідженнях, вже доведено, що вони економить час та витрати праці. Дослідження робочих характеристик БПЛА (час автономної роботи, точність відстеження автомобіля на різних висотах тощо) та параметрів камери (роздільна здатність, поле зору) будуть корисними для визначення параметрів польоту. Крім того, довідкова література щодо досліджень швидкості є необхідною для визначення обсягу вибірки необхідних даних, а отже і тривалості польоту. Це необхідно зрозуміти, щоб зібрати достатній набір даних для процесу встановлення обмеження швидкості. Далі, існуючі методи відстеження об'єктів, як зазначено в літературі, будуть спочатку перевірені для подальшої обробки даних, щоб визначити найбільш точний та ефективний спосіб отримання даних про транспортні засоби з відео. Нарешті, очевидно, що існує гостра потреба в вдосконаленій методології збору робочих швидкостей, і що БПЛА пропонує перспективне рішення для задоволення цих потреб.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1. Повітряна відеозйомка для визначення інтенсивності транспортного руху

Інтенсивність руху відіграє вирішальну роль у прийнятті рішень, пов'язаних з плануванням, проектуванням, експлуатацією та управлінням автомобільними дорогами. Традиційно дані про інтенсивність руху за короткий період часу збираються за допомогою детекторів транспорту у вигляді пневматичних трубок або візуального підрахунку. У даному параграфі описано використання БПЛА для відстеження транспортних засобів з цією метою.

Для обстеження обрано перехрестя вулиці Кобилянського та проспекту Миру у місті Кривий Ріг. Перехрестя вулиць проспекту Миру та вулиці Кобилянського у місті Кривий Ріг знаходиться у Центрально-міському районі. Є перетином однієї з головних вулиць міста. Поряд розташовані ТРК «Вікторія Плаза», Центральний ринок, Автостанція Кривий Ріг. Дана ділянка є місцем зосередження торгівлі та побуту. На ній присутні популярні кафе, ресторани, магазини. Найближчі до перехрестя зупинки – на вул. Лермонтова зупинка «Центрально-міський ринок», через яку проходять 26 автобусних маршрутів, та зупинка «вул. Балхаська», що є місцем проходження 16 маршрутів громадського транспорту.

Вибір даного перехрестя обумовлений такими чинниками:

1. наявністю міської камери спостережень, встановленої у рамках програми розгортання «Ситуаційного центру», доступ до якої дозволяє у зручний час виконати підрахунок інтенсивності транспортного руху для порівняння фактичних показників руху та тих, що знайдені у результаті інтелектуального відеоаналізу;

2. наявністю проблеми у транспортному русі у пікові ранкові години доби – з 8:00 до 8:30 (спостерігається черга транспортних засобів по вулиці Кобилянського при в'їзді на перехрестя збоку вулиці Пушкіна);

3. значною інтенсивністю транспортних потоків на ділянці у цілому.

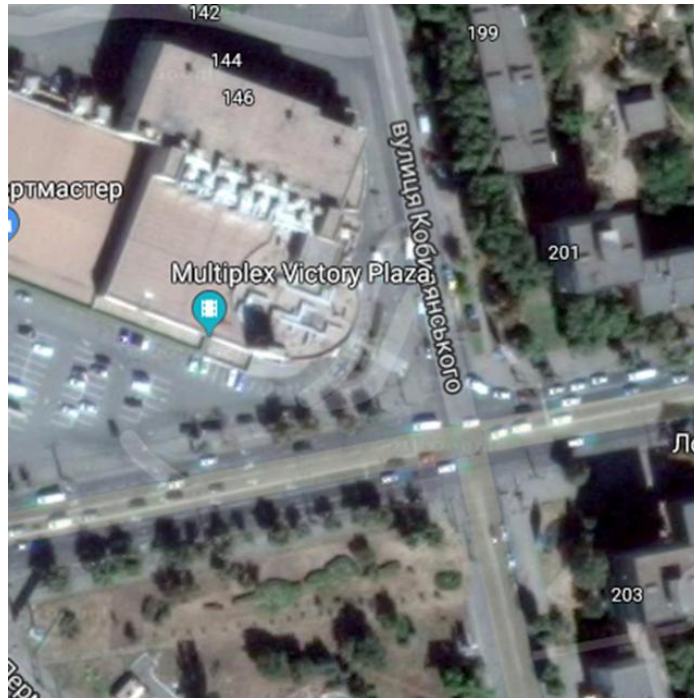


Рис.2.1. Супутниковий знімок перехрестя

У цьому дослідженні використовувався БПЛА DJI Mavic Air 2 у комплектації Fly More Combo (рис.2.2). Mavic Air 2 оснащений системою інфрачервоних датчиків і системами переднього, заднього та нижнього огляду. Кожна з систем переднього, заднього та нижнього огляду включає в себе дві камери, а система інфрачервоних датчиків складається з двох тривимірних інфрачервоних модулів. Система нижнього огляду і система інфрачервоних датчиків допомагають БПЛА підтримувати поточне становище, більш точно зависати на місці і літати в приміщенні або в інших умовах, де сигнал GPS недоступний.

Крім того, додаткове нижнє підсвічування, розташована під БПЛА, покращує видимість для системи нижнього огляду в умовах слабкого освітлення (рис.2.2) [19].

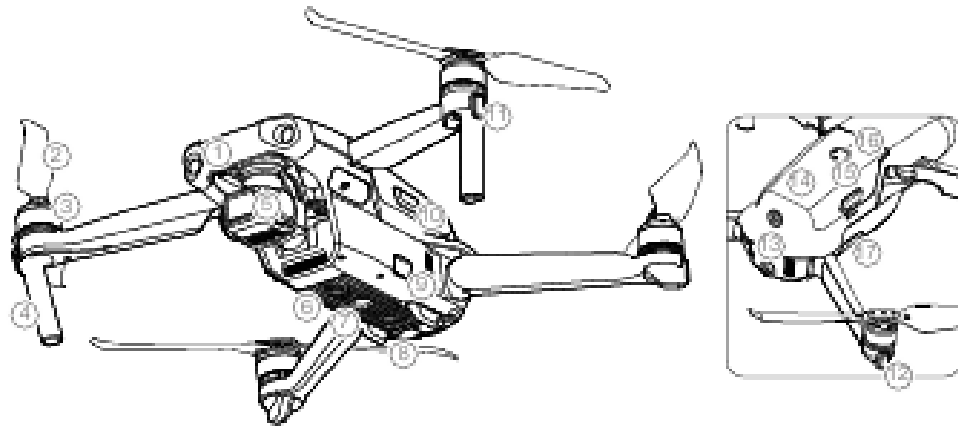


Рис.2.2. Схема БПЛА: 1. Система переднього огляду; 2. Пропелери; 3. Мотори; 4. Посадочне шасі (вбудовані антени); 5. Стабілізатор і камера; 6. Система нижнього огляду; 7. Додаткове нижнє підсвічування; 8. Система інфрачервоних датчиків; 9. Порт USB-C; 10. Засувки акумулятора; 11. Передні вогні; 12. Індикатори стану БПЛА; 13. Система заднього огляду; 14. Акумулятор Intelligent Flight Battery; 15. Кнопка живлення; 16. Світлодіодні індикатори рівня заряду акумулятора; 17. Слот для карти пам'яті microSD

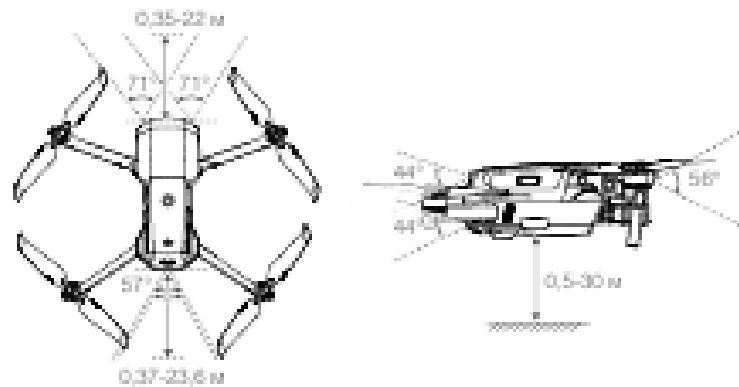


Рис.2.3. Діапазони розпізнання

Система переднього огляду: Діапазон розпізнавання: від 0,35 до 22 м;
Кут огляду (FOV): 71 ° (по горизонталі), 56 °(по вертикалі).

Система заднього огляду: Діапазон розпізнавання: від 0,37 до 23,6 м;
Кут огляду (FOV): 57 ° (по горизонталі), 44 ° (по вертикалі)

Система нижнього огляду: Система нижнього огляду працює найкраще, коли БПЛА знаходиться на висоті від 0,5 до 30 м, а його робочий діапазон становить від 0,5 до 60 м.

Політ здійснювався на висоті 100м над рівнем землі, оскільки за необхідності збільшення зони обстеження підвищується висота польоту. Враховуючи технічні характеристики вбудованої стандартної камери на Air 2, GSD при польоті в 100 м був розрахований на 10,84 сантиметра/піксель.

Для отримання найреалістичніших результатів було зроблено 5 відеозаписів по 15 хвилин кожний протягом ранкової години піку з 8 ранку до 9 ранку. Для кожного відео інтенсивність руху транспортних засобів вираховувалась вручну для встановлення точності автоматизованого підрахунку кількості транспортних засобів.

2.2. Автоматизоване відстеження транспортних засобів за допомогою комп'ютерного зору

На початковому етапі проводиться відеозйомка дорожнього руху на перехресті за допомогою БПЛА. Отриманий відеофайл завантажується у хмарне сховище на платформі DataFromSky, що займає тривалий час. 15-хвилинний ролик із роздільною здатністю 1920 на 1080 пікселів завантажується приблизно 7-8 годин. Обробка відеоролику за допомогою сервісу DataFromSky займатиме близько 2 годин. Після цього маємо робочий файл протоколу трасування із розширенням «.tlgx», який доступний для читання та редагування в утиліті DataFromSky Viewer. Вигляд сцени в утиліті утворюються підв'язкою до протоколу трасування початкового відеоролику.

В основу методики визначення точності програми інтелектуального аналізу даних дорожнього руху лежить порівняння OD-матриць транспортних потоків, отриманих за допомогою DataFromSky з тими, що визначені методом візуального спостереження. Саме кореспонденції між віртуальними лічильниками, що встановлюються в однакових точках робочого простору

відеоролику, визначатимуть не тільки точність ідентифікації об'єктів відстеження, а й динаміку руху при проходженні через відповідний лічильник у конкретному напрямку, що більш повно характеризує якість аналізу у відповідному програмному забезпеченні.



Рис.2.4. Схема методу відстеження транспортних засобів

Автоматичне обчислення швидкості руху базується на результатах відстеження транспортних засобів. Результатом відстеження транспортного засобу є траєкторія, яка представлена в системі координат зображення. Іншими словами, місцезнаходження транспортного засобу всередині траєкторії оцифровується на основі координат x , y зображення. Для обчислення швидкості транспортного засобу, потрібна реальна географічна інформація стосовно досліджуваної локації.

Тут ми переходимо до процедури так званої геореєстрації (*Georegistration*) відеоролику. Метою цього кроку є перетворення системи

координат зображення до глобальної системи координат так, щоб відстань, яка вимірюється в одиниці пікселя, можна перевести в одиниці метрів. Оскільки мова ведеться про відстеження плоских об'єктів у відеокадрі моделлю руху виступатиме гомографія (двовимірне перетворення) зображення об'єкта. Для перетворення координат маємо вісім ступенів свободи, для цього потрібно щонайменше чотири точкові пари обчислення матриці гомографії. Рисунок 2.5 ілюструє приклад гомографії для досліджуваного перехрестя, де чотири точки, показані ліворуч, – це ті, що відносяться до системи координат на зображенні, тоді як відповідні чотири точки, показані праворуч, – це ті, що представлені у глобальній системі координат.

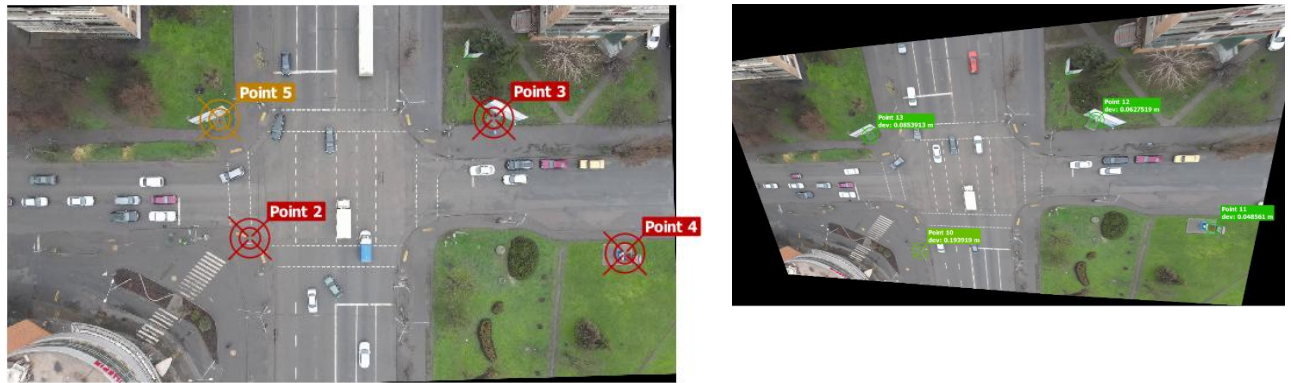


Рис.2.5. Перетворення системи координат зображення до глобальної системи координат (Геореєстрація)

Точність геореєстрації може бути легко підтримана завдяки послідовності геометричних вимірів та зменшення впливу можливого джерела помилок (тобто квантування). Однак точність локалізації транспортного засобу складно підтримувати, оскільки транспортні засоби представлені центроїдом. Точність виявлених / відстежених центроїдів для відображення фактичного місця розташування транспортних засобів може бути знижена у зв'язку із зміною кута огляду, часткової оклюзії або недосконалого виявлення. Незначне зміщення центроїдів у відео кадрах може створити локаційні порушення. У цьому дослідженні дані, зібрані БПЛА, мають ту перевагу, що уникають різкої зміни кута огляду та оклюзій.

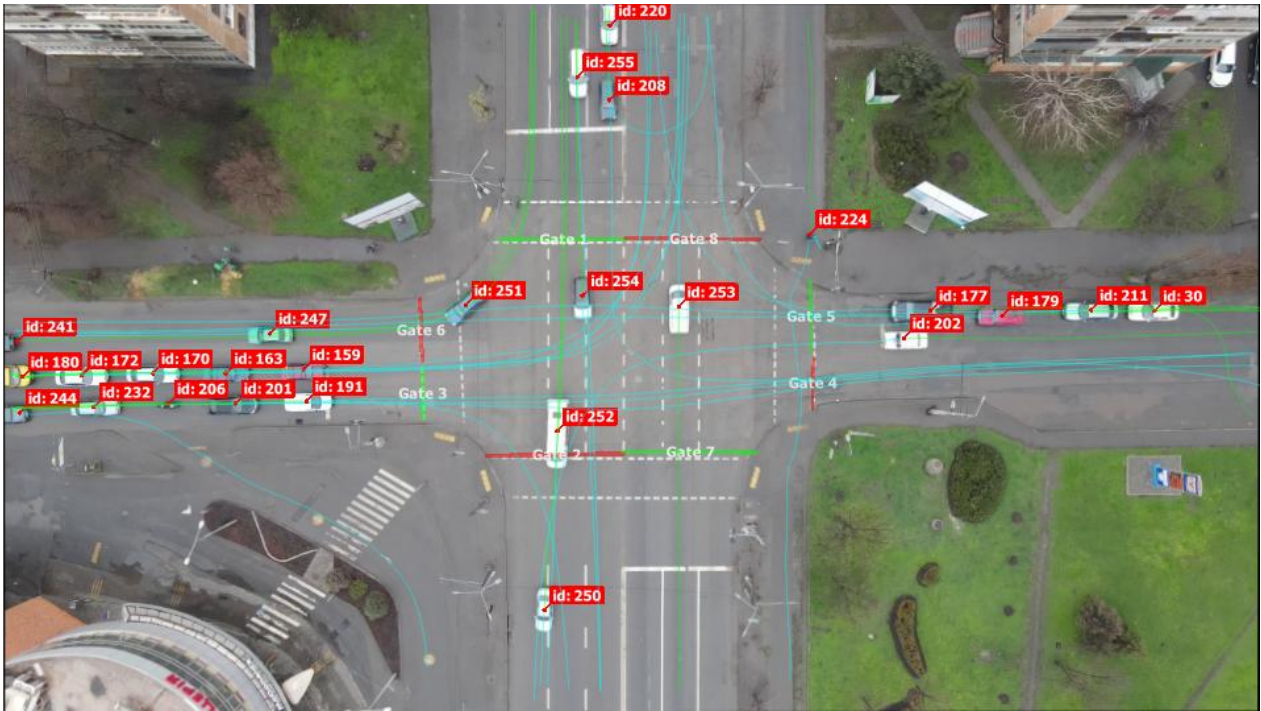


Рис. 2.6. Вид сцени та конфігурація позначень

Після геореєстрації відеоряду в DataFromSky проводиться процедура позначень кадру за допомогою окремого діалогового вікна «Управляти конфігурацією позначень» (рис.2.6). Для роз’яснення щодо напрямків руху транспорту через відповідний лічильник створено таблицю 2.1.

Табл.2.1

Позначення вхідних та вихідних лічильників та напрями відповідних транспортних потоків

Номер та позначення лічильника	Тип лічильника	Напрямок транспортного потоку
Gate 1	Вхідний	В’їзд на перехрестя збоку проспекту Миру
Gate 2	Вихідний	Виїзд з перехрестя убік вулиці Лермонтова
Gate 3	Вхідний	В’їзд з півночі на перехрестя збоку вулиці Кобилянського
Gate 4	Вихідний	Виїзд з перехрестя по вулиці Кобилянського на південь
Gate 5	Вхідний	В’їзд з півдня на перехрестя збоку вулиці Кобилянського
Gate 6	Вихідний	Виїзд з перехрестя по вулиці Кобилянського на північ
Gate 7	Вхідний	В’їзд на перехрестя збоку вулиці Лермонтова
Gate 8	Вихідний	Виїзд з перехрестя убік проспекту Миру

Визначення точності підрахунку кількості транспортних засобів за допомогою програми інтелектуального аналізу дорожнього руху DataFromSky складається з таких етапів:

1. за допомогою DataFromSky Viewer визначаються OD-матриці по кожному типу транспортних засобів та у цілому по перехрестю;
2. проводиться візуальне спостереження за складом та інтенсивністю транспортних потоків у лабораторних умовах, отримані дані приймаються за істинне значення та записуються в OD-матриці по кожному типу транспортних засобів та у цілому по перехрестю;
3. проводиться порівняння отриманих OD-матриць за відносною похибкою вимірювань;
4. визначається загальна кількість об'єктів розпізнання в DataFromSky Viewer по кожній OD-матриці, отримані значення порівнюються із даними загальної статистики із визначенням відсотку об'єктів, які не потрапили в OD-матриці.
5. проводиться порівняння фактичної загальної кількості по кожному типу об'єктів розпізнання та у цілому по перехрестю з кількісними показниками, отриманими за допомогою DataFromSky Viewer, із визначенням відносної похибки вимірювань.

Загальна статистика ділянки показує кількість відстежуваних об'єктів за час спостереження, кількість автомобілів, у тому числі, легкових, вантажних транспортних засобів, автобусів, мотоциклів, велосипедистів, пішоходів, а також загальну відстань їздки та середню швидкість руху (табл. 2.2).

Наступним етапом було проведення лабораторного експерименту у вигляді візуального спостереження за складом та інтенсивністю транспортних потоків протягом усього відеофрагменту дорожнього руху на перехресті. Для надійності результатів спостереження проводились двічі по кожному типу транспортних засобів відповідно до визначених напрямків руху транспортних

засобів, що проходять через встановлені віртуальні лічильники. Облікова картка для фіксації результатів спостережень представлена у табл. 2.3.

Табл.2.2

Загальна статистика перехрестя за даними DataFromSky Viewer

Показник	DataFromSky
Кількість об'єктів відстеження	817
Кількість легкових автомобілів	628
Кількість автомобілів середньої пасажиромісткості	92
Кількість вантажних автомобілів (легких, середніх, важких)	23
Кількість автобусів	15
Кількість фургонів	0
Кількість мотоциклів	1
Кількість велосипедів	0
Кількість пішоходів	58
Загальна пройдена відстань всіх об'єктів, м	46901
Середня відстань їздки, м	57
Середня швидкість руху у досліджуваній зоні, км/год.	7,9

Табл.2.3.

Фрагмент облікової картки для збору фактичних показників за інтенсивністю транспортних потоків на перехресті

Тип об'єкту відстеження	Кореспонденції			
	Gate 1 → Gate 2	Gate 3 → Gate 4	Gate 5 → Gate 6	Gate 7 → Gate 8
Легк.автомобіль	171	30	35	245

Отримані показники за допомогою візуального спостереження показники інтенсивності приймалися за істинне (фактичне) значення.

Таким чином, були визначені OD-матриці по фактичним показникам інтенсивності руху транспортних засобів за такими типами: легкові автомобілі, вантажні автомобілі, автобуси та фури.

Узагальнення результатів експериментальних досліджень у вигляді відповідних OD-матриць представлено у табл.2.4 – табл.2.7.

Табл.2.4

**OD-матриці за показниками інтенсивності руху досліджуваних
типів транспортних потоків на перехресті у цілому***

Вхідний ліч./ Вихідний ліч.	Gate 2	Gate 4	Gate 6	Gate 8
Gate 1	190/211	9/9	91/103	2/2
Gate 3	16/16	36/45	0/0	34/38
Gate 5	5/5	0/0	42/51	15/15
Gate 7	1/1	7/7	6/6	247/265

*– перше число – DataFromSky Viewer; друге число – істинне значення (без урахування мотоциклів).

Табл.2.5

**OD-матриці за показниками інтенсивності руху легкових автомобілів на
перехресті ***

Вхідний ліч./ Вихідний ліч.	Gate 2	Gate 4	Gate 6	Gate 8
Gate 1	158/179	9/9	82/94	2/2
Gate 3	13/13	28/37	0/0	29/33
Gate 5	4/4	0/0	24/33	13/13
Gate 7	1/1	5/5	5/5	203/218

*– перше число – DataFromSky Viewer; друге число– істинне значення.

Табл.2.6

**OD-матриці за показниками інтенсивності руху вантажних автомобілів
(середньої вантажопідйомності та довгоміри) на перехресті ***

Вхідний ліч./ Вихідний ліч.	Gate 2	Gate 4	Gate 6	Gate 8
Gate 1	29/32	0/0	8/8	0/0
Gate 3	3/3	7/7	0/0	5/5
Gate 5	1/1	0/0	11/11	2/2
Gate 7	0/0	2/2	1/1	41/44

*– перше число – DataFromSky Viewer; друге число– істинне значення.

Табл.2.7

OD-матриці за показниками інтенсивності руху автобусів на перехресті *

Вхідний ліч./ Вихідний ліч.	Gate 2	Gate 4	Gate 6	Gate 8
Gate 1	3/0	0/0	1/1	0/0
Gate 3	0	1/1	0/0	0/0
Gate 5	0/0	0/0	7/7	0/0
Gate 7	0/0	0/0	0/0	3/3

*– перше число – DataFromSky Viewer; друге число – істинне значення.

Таким чином, встановлено, що прямий напрямок руху транспортних засобів по вулиці Лермонтова убік проспекту Миру характеризується потоками найбільшої інтенсивності (рис.2.7, рис.2.8). Кількість транспортних засобів у даному напрямку за час відеозапису у 15 хвилин спостережень становила 247 одиниць за результатами інтелектуального відеоаналізу даних руху та 266 одиниць, визначених підрахунком вручну.

Основний вклад в інтенсивність руху транспортних потоків вносять легкові автомобілі, доля яких становила за оцінками DataFromSky Viewer 65 до 86% від загальної кількості досліджуваних транспортних засобів згідно отриманих OD-матриць та в залежності. Найменший відсоток легкового автотранспорту у загальному потоці характерний для напрямку із вхідного лічильника 5. Таким чином, для випадку перехрестя, що розглядається, питання розпізнання саме легкового автотранспорту визначає, перед усім, здатність штучного інтелекту програмного забезпечення даного класу до ідентифікації об'єктів відстеження.

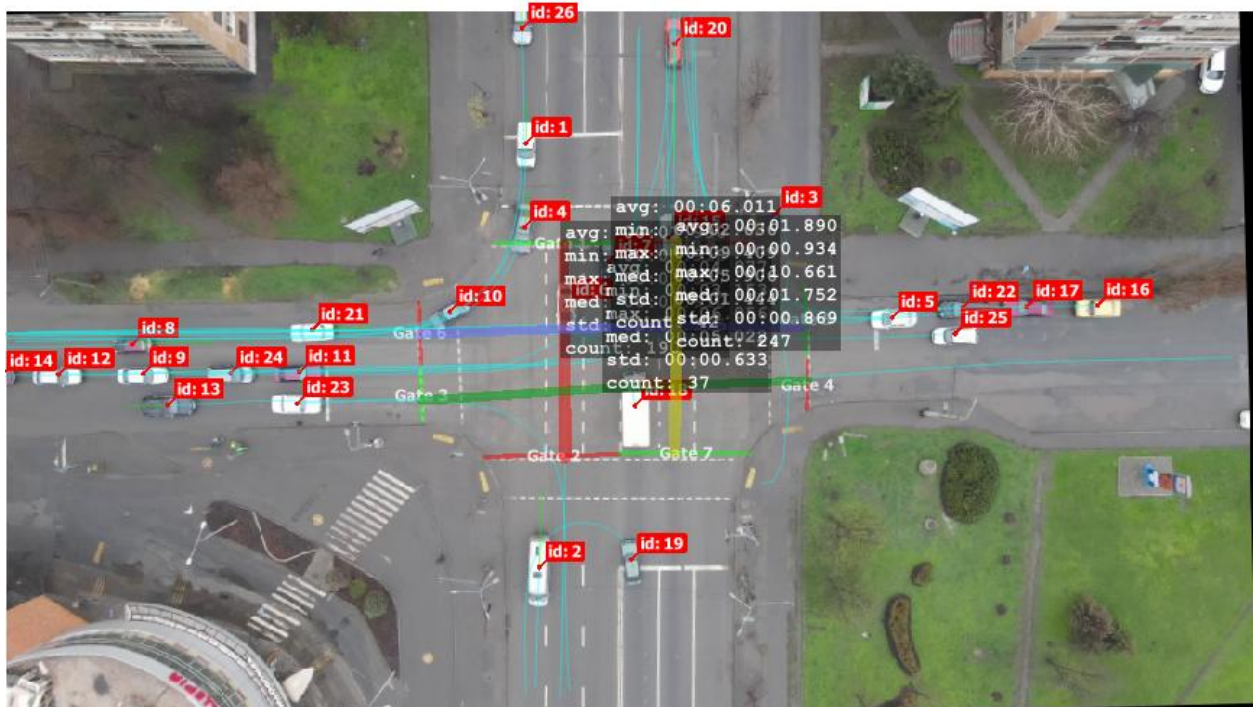


Рис. 2.7. Найбільш завантажені напрямки руху транспортних засобів

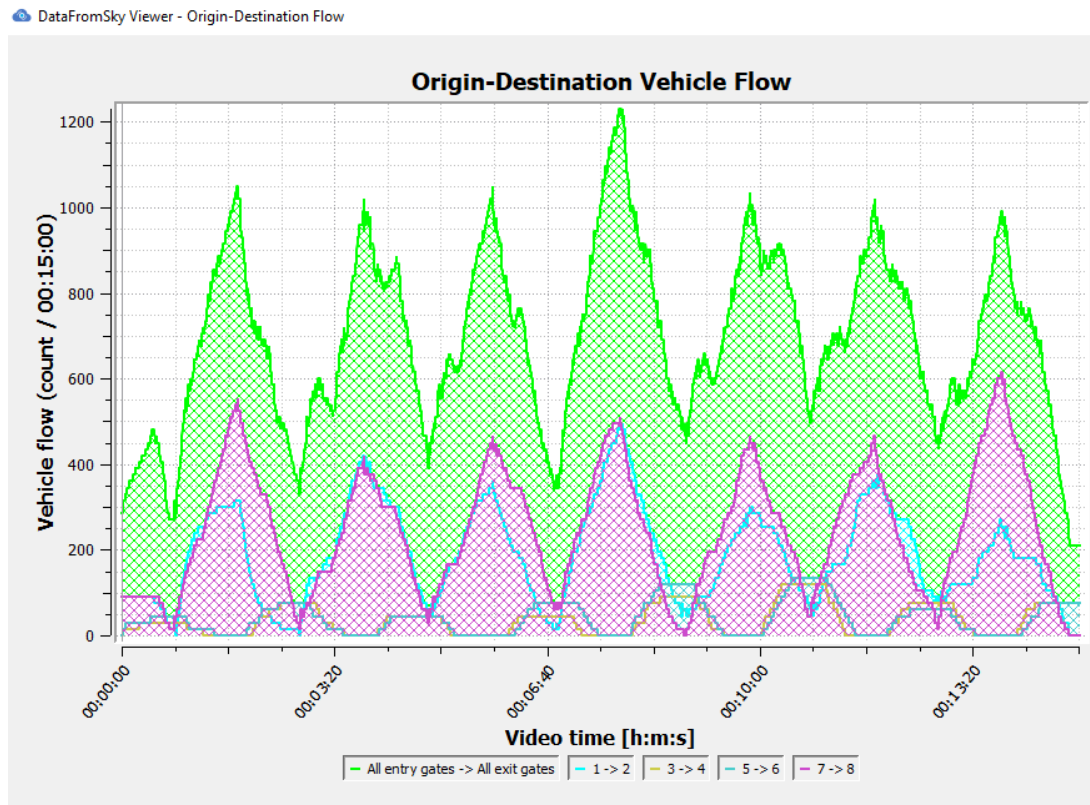


Рис.2.8. Інтенсивність руху транспортних засобів для напрямків прямого руху за час спостережень.

Черга транспортних засобів, що утворюється при виїзді з півночі по вулиці Кобилянського, обумовлена, не високою інтенсивністю потоків, яка значно менше інтенсивності по магістральній вулиці, а кількістю смуг для руху в одному напрямку (одна смуга).

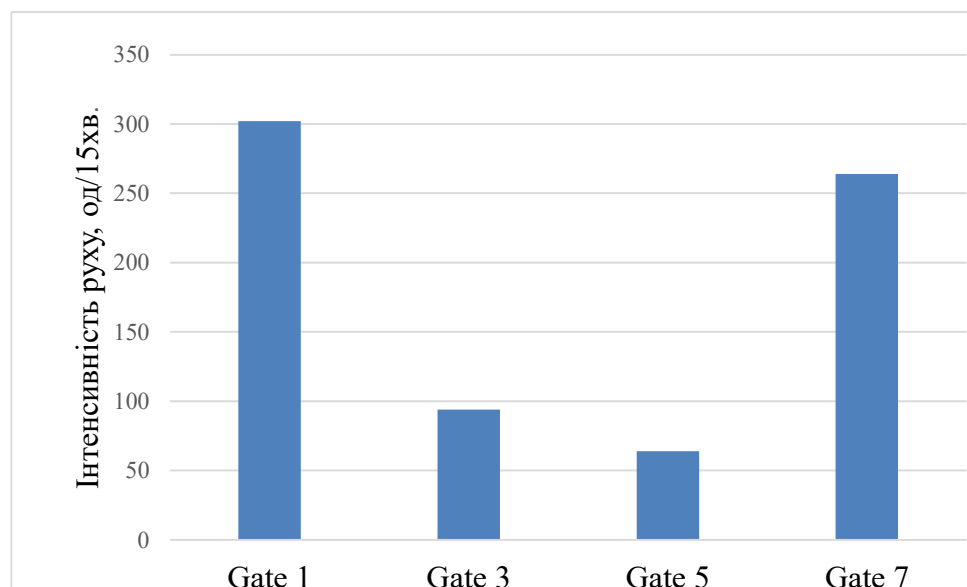


Рис.2.8. Інтенсивність руху на вході до лічильників

Порівняння фактичних показників інтенсивності руху транспортних засобів з тими, що отримані у результаті аналізу в DataFromSky Viewer дозволяє стверджувати, що заявлена розробниками даного програмного забезпечення точність результатів аналізу не виконується. Особливо це прослідковується на прикладі окремих кореспонденцій. Так, фактична кількість досліджуваних транспортних засобів у напрямку Gate 7 → Gate 8 (прямий рух по вулиці Лермонтова) становила 265 одиниць, а за даними DataFromSky Viewer – 247.

Непрямим показником точності автоматизованого підрахунку інтенсивності транспортних потоків може служити відсоток об'єктів розпізнання, які проходять через встановлені лічильники, та, відповідно, потрапляють в кореспонденції, що розглядаються. Припустимо, що чим більший даний відсоток, тим достовірніше врахування програмою моменту проходження об'єкту через лічильник, тим ближче ідентифікація об'єкту, яка технічно виглядає у вигляді присвоювання йому ID номера та підрахунку як такого у загальному статистичному звіті, до розпізнання події проходження через лічильник, що є предметом аналізу руху, тобто об'єкт може розглядатись як такий, що дістався кінцевого місце призначення. Виходячи з даного припущення, розраховано таблицю 2.8, у якій порівнянню підлягали дані по кожній OD-матриці.

Табл.2.9.

Порівняння кількості об'єктів по загальному звіті із сумарною інтенсивністю потоків по кожній OD-матриці

	DataFromSky		Відсоток об'єктів, які потрапили в OD-матрицю, %
	Загалом	OD-матриці	
Кількість об'єктів відстеження, авто/15 хв.	817	702	86,0
Кількість легкових автомобілів, авто/15 хв.	628	576	91,7
Кількість вантажних автомобілів, авто/15 хв.	92	108	85,1
Кількість автобусів, авто/15 хв.	15	15	100
Кількість довгомірів, авто/15 хв.	23	23	100

Відповідно до табл.2.9, платформа DataFromSky в статистиці зародження-призначення врахувала у цілому 86,0% від загальної кількості об'єктів відстеження.

Фінальний висновок про точність програми будемо роботи, спираючись на показник відносної похибки вимірювань:

$$I_{\text{відн}} = \left(\Delta I_{\text{Пз}ij} / I_{\text{Ф}ij} \right) \cdot 100\%$$

$\Delta I_{\text{Пз}ij}$ – різниця по модулю між показником інтенсивності, визначеним програмою, та фактичним показником інтенсивності; $I_{\text{Ф}ij}$ – фактичне значення інтенсивності руху, одиниць/15 хв.; i – порядковий номер типу автотранспорту, j – порядковий номер кореспонденції.

Узагальнюючі показники інтенсивності по кожному типу транспортних засобів, отримуємо табл.2.10. Величина відносної похибки розпізнання об'єктів відстеження у цілому для платформи DataFromSky становила 8,2%, що є допустимою величиною, яка порівнянна з інструментальними методами дослідження інтенсивності руху.

Табл.2.10

Зведений звіт по точності розпізнання учасників дорожнього руху

Показник	ОД-матриці	Факт	Відносна похибка, %
	DataFromSky		DataFromSky
Кількість об'єктів відстеження, авто/15 хв.	702	765	8,2
Кількість легкових автомобілів, авто/15 хв.	576	646	10,8
Кількість вантажних автомобілів, авто/15 хв.	108	116	6,8
Кількість автобусів, авто/15 хв.	15	15	0,0
Кількість довгомірів, авто/15 хв.	23	23	0,0

Після отримання числових даних по інтенсивності руху, переходимо до вивчення динаміки руху.

Для цього сформовано звіт Traffic Analysis в платформи DataFromSky. Розподіл швидкості руху визначимо для того напрямку, який нас цікавить (із вхідного лічильника Gate 3).

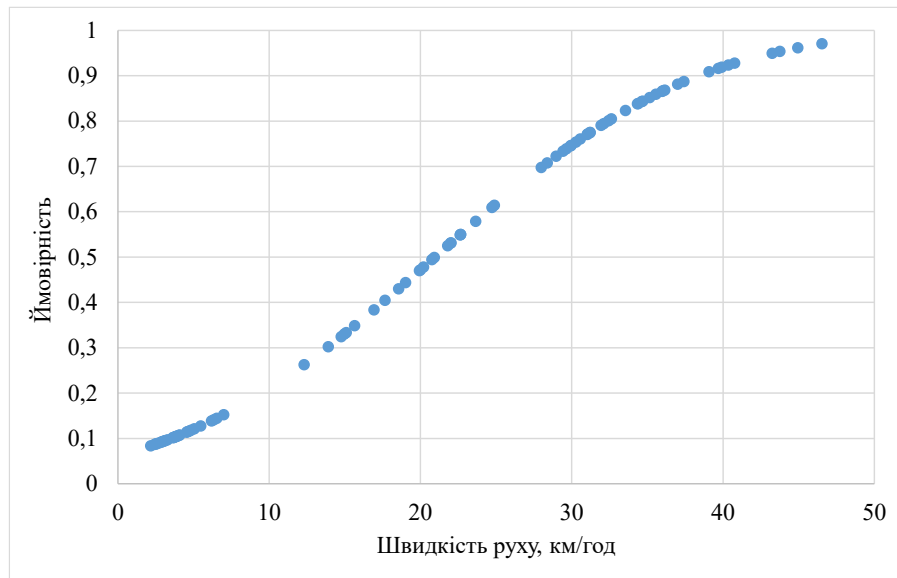


Рис.2.9. Функція розподілу швидкості потоку транспорту для вхідного лічильника 3

Дану функцію (рис.2.9) будемо використовувати для калібрування мікроімітаційної моделі перехрестя.

2.3. Розробка мікроімітаційної моделі та аналіз результатів моделювання

Реалізація моделі перехрестя проводиться за допомогою програми моделювання транспортних потоків PTV VISSIM.

Основним етапом у створенні імітаційної моделі ділянки вулично-дорожньої мережі є побудова дорожнього полотна на топографічній карті, яку реалізовано за допомогою функції «Відрізки». Функція «Відрізки» дозволяє створювати як ділянки доріг прямого напрямку (основні відрізки), так і поворотного (з'єднувальні відрізки), які утворюють повноцінний транспортний вузол (рис.2.10).

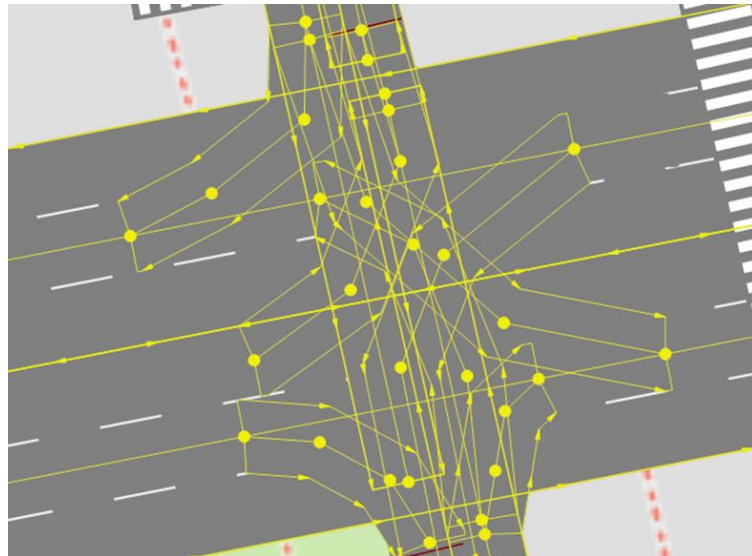


Рис.2.10. Основні відрізки

У VISSIM розрізняються: класи транспортних засобів, типи транспортних засобів та моделі транспортних засобів.

Для визначення інтенсивності вхідного потоку необхідно активувати відповідний пункт «Вхідні потоки ТЗ» в боковій панелі об'єкта мережі.

Для вхідних потоків необхідно створити маршрути, під якими розуміється фіксована послідовність відрізків, що має початок (червона лінія) і місце призначення (зелена лінія). Для того, щоб задати рішення маршруту необхідно активувати відповідний пункт «Маршрути ТЗ (Статично)» в боковій панелі об'єкта мережі.

Введення маршрутів індивідуального транспорту для досліджуваного перехрестя представлено на рис.2.11.

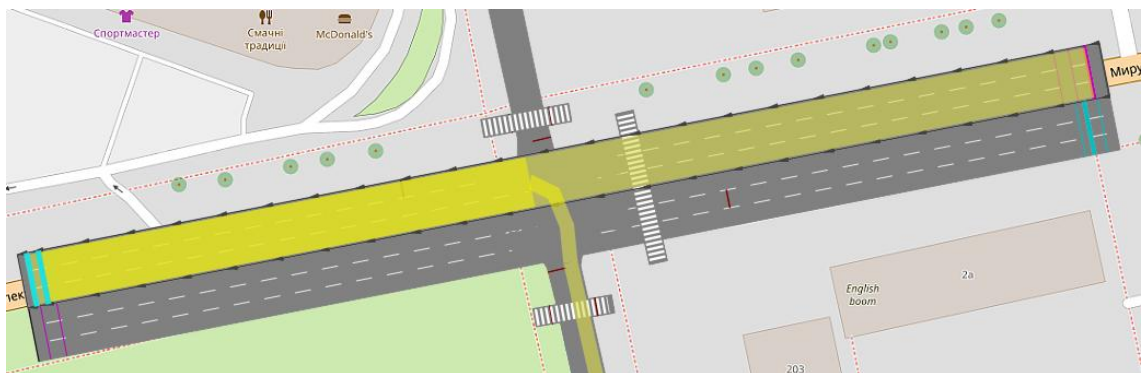


Рис.2.11. Введення маршрутів індивідуального транспорту

Досліджуваний транспортний вузол включає в себе рух громадського транспорту у вигляді маршрутних транспортних засобів. Загальна кількість автобусних маршрутів, що проходять через перехрестя – 26. Через зупиночний пункт на вулиці Балхарської проходять маршрутні таксі під номерами 201, 203, 205, 211, 214, 217, 228, 240, 279, 287, 293, 298, 300, 312, 314, 397, на вулиці Лермонтова – до названих маршрутів додаються 75, 244, 246, 247, 302, 413. Середній інтервал руху транспортних засобів на даних маршрутах – 5– 7 хв, що необхідно враховувати при створенні маршрутів громадського транспорту в VISSIM. За допомогою даного програмного засобу моделювання маршрутів громадського транспорту проводиться за допомогою функції «*Маршрути ГТ*». При цьому входними параметрами даних маршрутів є інтервал руху, швидкість ТЗ і час їх під'їзду до перехрестя.

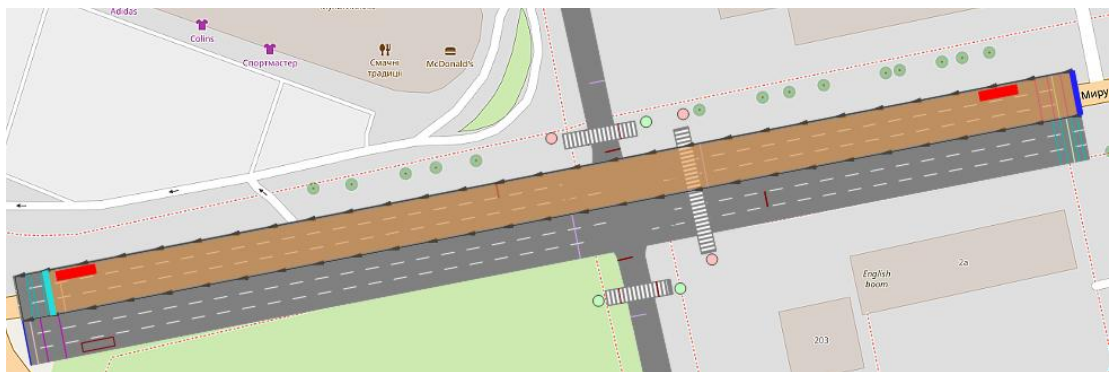


Рис.2.12. Створення маршрутів автобусів із зупинками громадського транспорту

На досліджуваному перехресті 100 конфліктних зон. При створенні моделі пріоритети проїзду ТЗ були дозволені відповідно до правил дорожнього руху. Приклад вирішення конфліктних зон показаний на рис.2.13.

Величина інтенсивності пішохідних потоків, отримана у натурних умовах, представлена на рис.2.14.

Редагування світлофорних об'єктів показано на рис.2.16.

Програмний аналіз результатів моделювання – на рис.2.17.

Із отриманих результатів можна прийти до висновку, що час у дорозі по встановленим напрямкам не перевищує 13 с.



Рис.2.13. Вирішення конфліктних зон на перехресті.

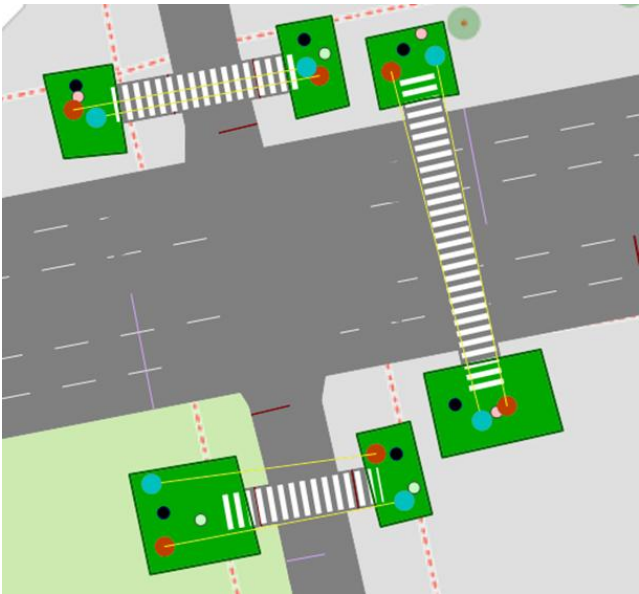


Рис.2.14. Моделювання напрямів руху пішоходів для досліджуваної ділянки дорожньої мережі.

Pedestrian Inputs / Pedestrian Volumes By Time Interval					
Select layout...		 Ped			
Count: 6	No	Name	Area	Volume(0)	PedComp(0)
1	1		6	560,0	1: Pedestrians
2	2		5	600,0	1: Pedestrians
3	3		4	640,0	1: Pedestrians
4	4		3	470,0	1: Pedestrians
5	5		2	712,0	1: Pedestrians
6	6		1	678,0	1: Pedestrians

Рис.2.15. Задавання навантажень по руху пішоходів.

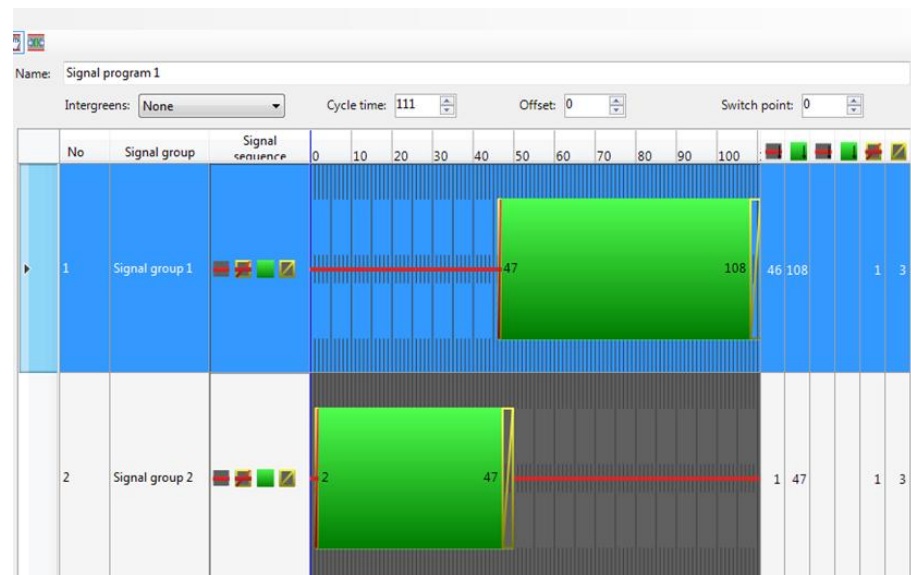


Рис.2.16. Редагування світлофорних об'єктів: група 1 – світлофори для транспорту; група 2 – світлофори для пішоходів.

Vehicle Travel Time Results					
Select layout...					
Count: 40	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)
24	16	0-3600	4	0	
25	Average	0-3600	1	110	13,02
26	Average	0-3600	2	0	
27	Average	0-3600	3	0	
28	Average	0-3600	4	0	
29	Standard deviation	0-3600	1	0	0,00
30	Standard deviation	0-3600	2	0	
31	Standard deviation	0-3600	3	0	
32	Standard deviation	0-3600	4	0	
33	Minimum	0-3600	1	110	13,02
34	Minimum	0-3600	2	0	
35	Minimum	0-3600	3	0	
36	Minimum	0-3600	4	0	
37	Maximum	0-3600	1	110	13,02
38	Maximum	0-3600	2	0	
39	Maximum	0-3600	3	0	
40	Maximum	0-3600	4	0	

Queue Results						
Select layout...						
Count: 40	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
1	11	0-3600	1	0,00	0,00	0
2	11	0-3600	2	0,00	0,00	0
3	11	0-3600	3	27,62	101,75	12
4	11	0-3600	4	2,86	80,28	5
5	12	0-3600	1	0,00	0,00	0
6	12	0-3600	2	0,00	0,00	0
7	12	0-3600	3	15,98	101,75	12
8	12	0-3600	4	1,66	80,28	5
9	13	0-3600	1	0,00	0,00	0
10	13	0-3600	2	0,00	0,00	0
11	13	0-3600	3	27,43	101,75	12
12	13	0-3600	4	2,84	80,28	5
13	14	0-3600	1	0,00	0,00	0
14	14	0-3600	2	0,00	0,00	0
15	14	0-3600	3	0,00	0,00	0
16	14	0-3600	4	9,22	80,28	4
17	15	0-3600	1	0,00	0,00	0

Рис.2.17. Результати розрахунку часу у дорозі та середньої довжини черги

Максимальна довжина черги на перехресті зафіксована на лічильнику під номером 3. Це означає, що для транспортних потоків у напрямку по вулиці Кобилянського (з півночі) убік перехрестя у будні дні розвивається транспортний затор довжиною 16 м. У часи пік його довжина може збільшуватись до 101 м. Вказані параметри транспортної ситуації на перехресті, отримані у результаті комп'ютерного мікромоделювання, говорять про незадовільний стан організації дорожнього руху на даній ділянці міської транспортної мережі.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

3.1. Метод визначення ефективності автоматизації підрахунку інтенсивності дорожнього руху

Застосування прогресивної технології автоматизації підрахунку інтенсивності руху транспортних потоків на міських перехрестях представляє собою захід, який вимагає здійснення інвестицій, пов'язаних із підключенням до тарифного плану відповідного розробника програмного забезпечення для активації облікового запису із наданням кредитів для обробки відеозаписів дорожнього руху. Метою оцінки ефективності впровадження технології інтелектуального аналізу даних дорожнього руху, яка докорінно змінюватиме підхід до обробки польових показників дорожнього руху, є обґрунтування доцільності вкладення коштів для підключення до тарифного плану.

Економічний ефект визначатиметься економією витрат, пов'язаних із зниженням трудомісткості виконання робіт з підрахунку даних OD-матриць:

$$E = C_1 - C_2 \quad (3.1)$$

C_1 – експлуатаційні витрати на проведення візуального обліку транспортних потоків на відеозаписі руху та розрахунок OD-матриць;

C_2 – експлуатаційні витрати на автоматизований облік показників руху за допомогою програм DataFromSky.

Перша складова визначатиметься:

$$C_1 = T_{ij} \cdot N_{ij} \cdot p_{ij} \quad (3.2)$$

де T_{ij} – час, необхідний на виконання робіт j -того профілю (візуальний облік транспортних потоків на відеозаписі руху та розрахунок OD-матриць) працівниками i -тої посади (обліковець); N_{ij} – кількість виконавців i -тої посади, задіяних у роботі j -того профілю; p_{ij} – погодинна оплата j -тої праці i -того виконавця робіт.

Друга складова враховує автоматизований облік показників руху за допомогою відповідного програмного забезпечення:

$$C_2 = T_{ij} \cdot N_{ij} \cdot p_{ij} + K \cdot p_k \quad (3.3)$$

де T_{ij} – час, необхідний на виконання робіт j -того профілю (маркування робочого простору відеофрагменту та експорт результатів аналізу руху) працівниками i -тої посади (експерт з транспортного моделювання); N_{ij} – кількість виконавців i -тої посади, задіяних у роботі j -того профілю; p_{ij} – погодинна оплата j -тої праці i -того виконавця робіт; K – кількість кредитів, витрачених на автоматизовану обробку відеозапису у хмарі розробника програмного забезпечення та створення протоколу трасування; p_k – вартість одного кредиту.

Соціальним результатом застосування автоматизації підрахунку інтенсивності руху транспортних потоків за допомогою програм інтелектуального аналізу даних є:

- зміна умов праці працівників, пов’язана із необхідністю застосування комп’ютерної техніки;

- зміна чисельності працівників, які підлягають навчанню, перенавчанню, підвищенню кваліфікації для вивчення функціоналу та застосування на практиці програм інтелектуального аналізу дорожнього руху.

Зовнішній ефект від застосування автоматизації підрахунку інтенсивності руху транспортних потоків за допомогою програм інтелектуального аналізу даних полягає у тому, що підвищується рівень освіти працівників та вивільняється час на проведення досліджень автомобільних доріг, міської забудови та транспортних розв’язок.

3.2. Оцінка ефективності автоматизованого відео аналізу дорожнього руху

Визначення ефективності від впровадження технології DataFromSky для автоматизованого підрахунку даних дорожнього руху проводилось на прикладі відеозапису руху на досліджуваному перехресті вулиць «проспект Миру – вулиця Кобилянського».

Експлуатаційні витрати на проведення візуального обліку транспортних потоків на відеозаписі руху та розрахунок OD-матриць розраховані нижче.

На виконання даних робіт було затрачено 16 годин. Середня погодинна ставка обліковця дорожнього руху становить 100 грн за годину [13]. Тоді

$$C_1 = 16 \cdot 100 = 1600 \text{ грн.}$$

На геореєстрацію, маркування робочого простору відеофрагменту в DataFromSky та експорт результатів аналізу руху було витрачено 28 хв. (0,47 год.). Середня погодинна ставка експерта з транспортного моделювання становить 8 євро (239,2 грн.) [17]. Для обробки відеозапису було витрачено 1,25 кредитів. Вартість одного кредиту для «Aerial» режиму, який дозволяє обробити 1 годину відео з БПЛА, становить 14,50 євро (485 грн.).

Звідси експлуатаційні витрати на автоматизований облік показників руху за допомогою програми DataFromSky становитимуть:

$$C_2 = 0,47 \cdot 1 \cdot 239,2 + 1,25 \cdot 485 = 718 \text{ грн.}$$

Таким чином, для досліджуваного перехрестя автоматизація підрахунку інтенсивності та OD-матриць у програмному середовищі DataFromSky дозволяє зменшити витрати на облік на 982 грн.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Вимоги до умов польоту на БПЛА

1. Забороняється використовувати БПЛА при несприятливих погодних умовах, таких як дощ, сніг і туман, і при швидкості вітру більше 10 м/с [19].

2. Польоти виконуються тільки на відкритих ділянках. Висотні будівлі і великі металеві конструкції можуть вплинути на точність бортового компаса і системи GPS. Рекомендується, щоб БПЛА знаходився на відстані принаймні 5 м від будівель.

3. Слід уникати перешкод, скупчень людей, високовольтних ліній електропередачі, дерев і водойм. Рекомендується, щоб БПЛА знаходився принаймні в 3 м над водою.

4. Необхідно уникати області з високим рівнем електромагнітних полів, таких як зони поблизу ліній електропередачі, станцій мобільного зв'язку, електричних підстанцій і радіомовних вишок.

5. Експлуатаційні характеристики БПЛА і акумулятора залежать від умов навколишнього середовища, наприклад щільності повітря і температури. Необхідно бути обережним при польоті на висоті більше 5000 метрів над рівнем моря, оскільки в таких умовах експлуатаційні якості акумулятора і БПЛА можуть погіршитися.

6. БПЛА не може використовувати GPS в полярних регіонах планети. При польоті в таких зонах використовується система нижнього огляду.

7. З обережністю виконується зліт з рухомої поверхні, наприклад, з рухомого транспортного засобу [19].

4.2. Польоті обмеження та зони GEO

Оператори безпілотних літальних апаратів повинні дотримуватися правил саморегульованих організацій, таких як Міжнародна організація цивільної авіації, Федеральне управління цивільної авіації та місцеві авіаційні

органи влади. З міркувань безпеки обмеження польоту включені за замовчуванням, щоб допомогти користувачам управляти БПЛА безпечно і на законних підставах. Користувачі можуть встановити межі польоту по висоті і віддалі.

При наявності GPS обмеження висоти, дальності і зон GEO діють одночасно для забезпечення безпеки польоту. Однак висота може бути обмежена, коли система GPS недоступна.

Зони GEO підрозділяються на різні категорії і включають такі місця, як аеропорти, аеродроми, де пілотовані літальні апарати працюють на малих висотах, кордони між країнами і такі стратегічно важливі об'єкти, як електростанції [18].

4.3. Рекомендації по зйомці відео

1. Процедури перед польотної перевірки покликані забезпечити безпеку і гарантувати зйомку відео під час польоту. Перед кожним польотом виконується повна передполітну перевірку по контрольній карті.

2. Обирається потрібний режим роботи стабілізатора.

3. Налаштування камери обираються так, щоб найкращим чином відповідати вибраним завданням.

4. Польотні випробування проводяться, щоб встановити маршрути польотів і ознайомитися з місцевістю.

5. Для забезпечення плавності і стабільності руху БПЛА джойстики треба переміщувати обережно [19].

ВИСНОВКИ

У роботі представлено дослідження дорожнього руху на перехресті проспекту Мира та вулиці Кобилянського у місті Кривий Ріг за допомогою новітньої технології обробки польових показників дорожнього руху за допомогою програми інтелектуального аналізу дорожнього руху DataFromSky, що використовує штучний інтелект для розпізнання учасників руху.

1. Технологія обстеження руху за допомогою БПЛА є такою, що постійно розвивається, при цьому у програмні засоби комп'ютерного зору додаються нові функціональні можливості щодо способів представлення результатів аналізу руху.

2. В основу методики визначення точності програм інтелектуального аналізу даних дорожнього руху покладено порівняння OD-матриць транспортних потоків, отриманих за допомогою відповідної програми з тими, що визначені методом візуального спостереження за відеореєстром.

3. Проведено лабораторний експеримент, який полягав у виконанні порівняльного аналізу OD-матриць з програми DataFromSky з урахуванням складу транспортного потоку для відеореєстру руху з БПЛА на досліджуваному перехресті. Величина відносної похибки розпізнання об'єктів відстеження у цілому для платформи DataFromSky становила 8,2%, що є допустимою величиною.

4. Розроблено імітаційну модель досліджуваного перехрестя у програмі VISSIM. В результаті моделювання встановлено, що для транспортних потоків у напрямку по вулиці Кобилянського (з півночі) у бік перехрестя у будні дні розвивається транспортний затор довжиною 16 м, а у часи пік його довжина може збільшуватись до 101 м.

5. З урахуванням виконаної роботи по аналізу руху на перехресті ефективність використання платформи DataFromSky дозволяє зменшити витрати на облік на 982 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. К.: Мінрегіон України, 2018. – 61с.
2. Осетрін М.М. Коефіцієнти добового приведення інтенсивності руху транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста (на прикладі м. Києва) / М.М. Осетрін, Д.О. Беспалов, М.І. Дорош, В.Б. Петрук, І.В. Королевська // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2017. – Вип. 65. – С. 418-425.
3. Електронний ресурс: <https://datafromsky.com/applications/traffic-counting/>
4. ДСТУ 8824:2019 Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 36с.
5. Сватко В.В. Методика визначення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля з використанням моделі ефективного транспортного засобу / В.В. Сватко // Modern directions of theoretical and applied researches / Транспорт і логістичні системи. – К., НТУ, 2013. (джерело електронного доступу: <https://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/march-2013>).
6. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. К.: Мінрегіон України, 2015. – 113с.
7. Електронний ресурс: <https://pro-mobility.org/2020/04/29/sposoby-pidvyshchennia-tochnosti-zboru-vykhidnykh-danykh-shliakhom-avtomatyzatsii-pidrakhunku-intensyvnosti-rukhu-transportu-ta-pishokhodiv/>
8. Електронний ресурс: <https://nachasi.com/2017/07/04/drone-rules/>
9. Електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1062-18>
10. Danescu, R., Oniga, F., Nedevschi, S. and Meinecke, M., 2009. Tracking multiple objects using particle filters and digital elevation maps. In: 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 88–93.

11. Gleason, J., Nefian, A., Bouysseounousse, X., Fong, T. and Bebis, G., 2011. Vehicle detection from aerial imagery. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2065–2070.
12. Kozempel, K. and Reulke, R., 2009. Fast vehicle detection and tracking in aerial image bursts. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 38(3), pp. 175 – 180.
13. Lee, J.-N. and Kwak, K.-C., 2014. A trends analysis of image processing in unmanned aerial vehicle. *International Journal of Computer, Information Science and Engineering*, 8(2), pp. 2 – 5.
14. Lin, R., Cao, X., Xu, X., Wu, C. and Qiao, H., 2009. Airborne moving vehicle detection for video surveillance of urban traffic. In: 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 203–208.
15. Moranduzzo, T. and Melgani, F., 2014. Automatic car counting method for unmanned aerial vehicle images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(3), pp. 1635–1647.
16. Nguyen, T. T., Grabner, H., Gruber, B. and Bischof, H., 2007. On-line boosting for car detection from aerial images. In: *IEEE International Conference on Reasearch, Innovation and Vision for the Future*, pp. 87–95.
17. Selvakumar, S. and Kalaivani, S., 2013. Comparative study on vehicle detection techniques in aerial surveillance. *International Journal on Cybernetics & Informatics*.
18. Tuermer, S., Leitloff, J., Reinartz, P. and Stilla, U., 2010. Automatic vehicle detection in aerial image sequences of urban areas using 3d hog features. *Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis*, 28, pp. 50–54.
19. DJI Mavic Air 2 User Manual.