

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему: *Визначення замісних показників безпеки дорожнього руху (ТТС, РЕТ)
на основі SSAM-підходу та програми зі штучним інтелектом*

Виконав:

студент 4 курсу, групи ТТ-16 _____

(шифр групи)

Д.Р. Яловой

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент _____

(науковий ступінь, вчене звання)

В.О.Сістук

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри:

д.т.н., професор _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Ю.А. Монастирський

(прізвище та ініціали)

Кривий Ріг – 2020р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
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

_____/_____
”_____” 2020 р. . /

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Яловому Дмитру Ярославовичу

1. Тема: *Визначення замісних показників безпеки дорожнього руху (ТТС, РЕТ) на основі SSAM-підходу та програми зі штучним інтелектом*

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

затверджені наказом університету від “12” травня 2020 року № 390.

2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат 06.06.2020

3. Вихідні дані до роботи: Навчально-методичне забезпечення з програм відеоаналізу руху DataFromSky, оцінки безпеки дорожнього руху SSAM.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Загальна методика автоматизації оцінки безпеки руху на основі замісних показників. Аналіз методів автоматизації оцінки показників безпеки руху на прикладі кільцевої розв'язки. Оцінка ефективності методів автоматизації оцінки безпеки руху. Правила безпеки дорожнього руху при проїзді кільцевих розв'язок.

5 Графіки та діаграми по результатах досліджень у вигляді презентації в програмі Microsoft Office Power Point, на компакт диску з шістьма екземплярами роздруківки презентації для членів ДЕКу.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Загальна методика автоматизації оцінки безпеки руху на основі замісних показників	12.05–18.05	
2	Аналіз методів автоматизації оцінки показників безпеки руху на прикладі кільцевої розв'язки	18.05-21.05	
3	Оцінка ефективності методів автоматизації оцінки безпеки руху	21.05-28.05	
4	Правила безпеки дорожнього руху при проїзді кільцевих розв'язок	28.05-29.05	
5	Оформлення пояснювальної записки та презентації	29.05-06.06	

Студент

(підпис)

Д.Р.Яловой

Керівник роботи

(підпис)

В.О.Сістук

РЕФЕРАТ

У роботі проведено дослідження методів автоматизованої оцінки безпеки дорожнього руху з використанням технологій штучного інтелекту та аналізу траєкторій транспортних засобів, отриманих шляхом імітаційного моделювання. Основу порівняння становлять замісні показники безпеки – час до зіткнення (TTC) та час після вторгнення (PET), які дозволяють ідентифікувати потенційні конфлікти у транспортних потоках та застосовуються в програмних середовищах DataFromSky і SSAM.

Розроблено методику інтегрованої оцінки безпеки руху, яка включає:

- відеозйомку транспортних потоків;
- обробку відео в DataFromSky та визначення показників TTC і PET;
- побудову імітаційної моделі ділянки в VISSIM з подальшим аналізом у SSAM;
- порівняння отриманих результатів.

Методику апробовано на прикладі кільцевої розв'язки 95-го кварталу у м. Кривий Ріг. Отримані результати свідчать, що різниця середніх значень замісних показників між програмами становить: для TTC – 28,5%, для PET – 92,2%. Виявлено, що DataFromSky демонструє меншу дисперсію TTC (0,069 проти 0,10) та більш високу для PET (2,05 проти 0,11), що вказує на різну чутливість методів. За якісними критеріями SSAM забезпечує більш оптимістичну оцінку безпеки (TTC=0,10 с проти 0,14 с; PET=0,19 с проти 2,44 с).

Порівняння з моделлю прогнозу дорожньо-транспортних пригод показало, що DataFromSky точніше відтворює взаємодію транспортних потоків на кільцевій розв'язці (4 конфлікти при PET=0), тоді як SSAM моделює більшу кількість конфліктів (18 при PET=0). Разом з тим, використання зв'язки VISSIM/SSAM дозволяє зменшити витрати на автоматизацію оцінки безпеки на 52% у порівнянні з DataFromSky.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ОСНОВІ ЗАМІСНИХ ПОКАЗНИКІВ.....	9
1.1.Автоматизація аналізу безпеки руху за допомогою штучного інтелекту програми DataFromSky	9
1.2.Автоматизація аналізу безпеки руху за допомогою підходу VISSIM/SSAM.	12
1.3. Загальна методика досліджень	16
1.4. Висновки до розділу 1	18
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ПРИКЛАДІ КІЛЬЦЕВОЇ РОЗВ'ЯЗКИ	19
2.1. Загальна характеристика кільцевої розв'язки.....	19
2.2. Параметри вихідного відеозапису дорожнього руху на кільцевій розв'язці.	20
2.3. Позначення робочого простору відеокادру в Datafromsky Viewer	21
2.4. Визначення інтенсивності руху за напрямками	23
2.5. Автоматизована оцінка безпеки руху за допомогою DataFromSky Viewer...	27
2.6. Розробка імітаційної моделі кільцевої розв'язки.	30
2.7. Аналіз конфліктів та замісних показників безпеки руху в SSAM.....	33
2.8. Порівняння методів автоматизації оцінки безпеки руху	35
2.9. Висновки до розділу 2	39
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ	41
3.1 Метод визначення ефективності автоматизації оцінки безпеки руху.....	41
3.2. Аналіз економічної ефективності використання технологій DataFromSky та VISSIM/SSAM	42

РОЗДІЛ 4. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ПРИ ПРОЇЗДІ КІЛЬЦЕВИХ РОЗВ'ЯЗОК.....	44
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогодні вихідні показники дорожнього руху, отримані на основі мікромоделювання транспортних потоків, не можуть служити прямим керівництвом для оцінки безпеки дорожнього руху (БДР). У зв'язку з цим, оцінка прогностичної здатності імітаційних моделей до представлення показників безпеки руху на основі виникаючих у процесі моделювання конфліктів представляє значний інтерес. Частота та суворість конфліктів залежить від будови транспортної розв'язки, яка визначає траєкторію руху транспортних засобів, а значить, й вірогідність конфлікту. На перевірку даного припущення спрямована робота спеціалізованого програмного забезпечення, так звана, модель оцінки безпеки руху на основі замісних показників (Surrogate Safety Assessment Model, коротко SSAM). Однак результати оцінки безпеки руху за допомогою даного програмного забезпечення носять суперечливий характер. Так, залежність між загальною кількістю конфліктів та кількістю дорожньо-транспортних пригод (ДТП) мала коефіцієнт детермінованості 0,41. У той же час, стандартні методи прогнозування кількості можливих конфліктів на перехрестях за допомогою статистичного аналізу звітів з ДТП та побудови відповідних прогностичних функцій від інтенсивності руху автотранспорту показали кращу за SSAM кореляцію із фактичними даними із коефіцієнтом детермінованості 0,68 [30].

Підвищення прогностичної здатності SSAM, за словами розробників, може бути досягнуто за рахунок калібрування поведінкової моделі водія мікроімітаційної моделі. На наш погляд, джерелом вихідних даних для такого калібрування можуть виступати програми інтелектуального аналізу відеозаписів дорожнього руху, які розраховані на автоматизацію підрахунку інтенсивності руху транспортних засобів. У той же час, передові платформи такого класу за рахунок використання алгоритмів штучного інтелекту дозволяють проводити аналіз безпеки руху на основі замісних показників безпосередньо у програмному середовищі.

На теперішній час порівняння результатів аналізу безпеки руху із використанням замісних показників відповідно до програм інтелектуального аналізу безпеки руху та SSAM не проводилось.

Мета роботи. Порівняння методів оцінки безпеки дорожнього руху на основі використання замісних показників, отриманих за допомогою програм інтелектуального відеоаналізу руху та SSAM-підходу.

Об'єкт дослідження – методи оцінки безпеки руху, що використовуються програмою інтелектуального відео аналізу руху та SSAM.

Предмет дослідження – замісні показники безпеки руху – «час до зіткнення» (TTC) та «час після вторгнення» (PET).

Задачі дослідження:

1. Розробити загальну методику порівняльного аналізу методів оцінки безпеки дорожнього руху на основі використання замісних показників, отриманих за допомогою програм інтелектуального відеоаналізу руху та SSAM-підходу.

2. Провести аналіз замісних показників безпеки руху (TTC, PET), отриманих у результаті постобробки відеозапису руху на перехресті за допомогою програми інтелектуального аналізу руху DataFromSky.

3. Провести аналіз безпеки руху за допомогою SSAM за записами траєкторій транспорту з VISSIM-моделі перехрестя.

4. Провести порівняння отриманих за DataFromSky та SSAM результатів.

Методи дослідження. Аналіз, класифікація, відеообробка, штучний інтелект, імітаційне мікромоделювання, порівняння, статистичний аналіз.

Практична цінність. Розвиток та поглиблення уявлень про сучасні методи оцінки безпеки дорожнього руху за допомогою програм автоматизації аналізу руху.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 20 рисунків, 5 таблиць, списку літератури з 31 джерела на 50 сторінках машинописного тексту.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ОСНОВІ ЗАМІСНИХ ПОКАЗНИКІВ

1.1. Автоматизація аналізу безпеки руху за допомогою штучного інтелекту програми DataFromSky

DataFromSky є програмою інтелектуального аналізу руху із переглядом, створенням та редагуванням даних відстеження транспортних засобів у відеоряді. Програма виконує такі функції [9]:

- створення нових файлів протоколу трасування шляхом процедури геореєстрації відео та ручного позначення траєкторії транспортного засобу;
- перевірка наявних файлів протоколу трасування (“.tlg”) разом з проаналізованими послідовностями відео;
- редагування існуючих файлів протоколу трасування: додавання нових треків, коригування та видалення вміщених композицій;
- експорт даних відстеження транспортних засобів у файли даних CSV, придатних для подальшого аналізу траєкторії транспортного засобу;
- обчислення та експорт інформації про такі параметри як «Час до переходу» (*Time-to-Gate*) та «Час до слідування» (*Time-to-Follow*);
- створення відео візуалізації позначених або виявлених траєкторій руху транспортних засобів.

У режимі “Light” (відеозйомка з дорожніх камер) доступно лише позначення транспортних засобів у вигляді відповідних прапорців.

У режимі “Aerial” (відеозйомка з безпілотного літального апарату) доступні такі функції:

- геореєстрація даних;
- аналіз проміжків часу та часу слідування;

– аналіз безпеки руху на основі замісних показників (час до зіткнення (*Time To Collision*), час після вторгнення (*Post Encroachment Time*), гальмування (*Heavy Braking*));

– експорт траєкторій в файл формату CSV;

– виправлення зміщення проекції;

– розрахунок статистики проїзду.

Кожен транспортний засіб має лінію траєкторії та позначення у формі червоного прапорця та ідентифікаційного номера (*ID*). Таким чином, можна ввідслідкувати дані по траєкторії руху об'єкта відстеження у будь-який момент часу відеороліку.

Аналіз безпеки руху в DataFromSky сертифіковано міністерством транспорту Чеської республіки [9]. Аналіз безпеки дорожнього руху використовується для створення списку конфліктів, який можна експортувати для подальшої обробки. Виявлені конфлікти позначаються у робочому просторі [9].

У налаштуваннях «Моделювання» можна обрати модель передбачення руху [9]:

- *Вектор швидкості* – спрощений розрахунок прямолінійного руху транспортного засобу, точність розрахунків на криволінійних траєкторіях зменшена;

- *Модель Акермана* – більш точна модель, заснована на врахуванні кута коліс, з цієї причини розрахунок займає більше часу;

- *Урахування прискорень об'єктів руху*– при обранні даної опції, не тільки швидкість руху враховується при розрахунку, а й прискорення об'єктів.

Типами конфліктів виступають замісні показники безпеки руху, а саме, час до зіткнення (*Time To Collision*), час після вторгнення (*Post Encroachment Time*), та екстрене гальмування (*Heavy Braking*).

- *Час до зіткнення (TTC)* визначає, за скільки секунд транспортні засоби зіткнулися б, якби вони рухались зі сталою швидкістю та напрямком.

Встановлюється різниця між мінімальними швидкостями двох транспортних засобів, і якщо ця різниця менша за вказане порогове значення, розрахунок для цієї пари транспортних засобів не проводитиметься. Порогова величина встановлює, за скільки секунд визначається різниця швидкостей, яка повинна принаймні дорівнювати мініальному значенню. Виявлені конфлікти позначаються як лінії, які показують місце розташування та кут, під яким виникають зіткнення, прямокутники вказують положення транспортних засобів.

- *Час після вторгнення (PET)* – це різниця між часом, за який транспортний засіб потрапляє в конфліктну точку, та часом, поки інший транспортний засіб увійде до цієї точки. Порогове значення параметру встановлюється за максимальним часом. Виявлені конфлікти представляються як лінії, які показують місце та кут, під яким може відбутись зіткнення.

- *Екстрене гальмування (Heavy Braking)* виявляє швидке уповільнення для визначення конфліктів та небезпечних ситуацій. Порогова величина визначає, наскільки транспортний засіб повинен здійснювати гальмування для того, щоб це враховувати. Виявлені конфлікти представляються як лінії, які показують шлях, на якому гальмування перевищує порогову величину.

Алгоритм аналізу безпеки руху в програмі DataFromSky представлений на рис.1.1.

Слід зауважити, що до того, як експортувати результати аналізу безпеки руху необхідно виставити порогові величини часу до зіткнення та часу після вторгнення, які повинні співпадати з ідентичними пороговими показниками в SSAM.

Аналіз безпеки руху в DataFromSky позиціонується як додатковий інструмент до загальної статистичної звітності по ділянкам транспортних мереж. Результати аналізу, як і у випадку використання SSAM, носять прогностичний характер і краще за все потребують додаткової верифікації з фактичними даними по місцям концентрації ДТП.

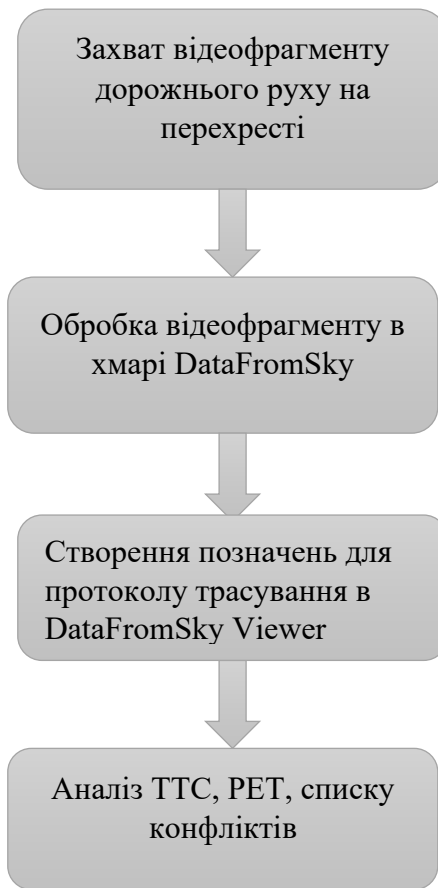


Рис.1.1. Основні етапи автоматизованого аналізу показників безпеки руху із використанням DataFromSky

1.2. Автоматизація аналізу безпеки руху за допомогою підходу VISSIM/SSAM

Замісні показники безпеки руху безпосередньо пов'язані із процедурою визначення виникаючих конфліктів ТЗ на об'єктах транспортної мережі. До замісних показників безпеки дорожнього руху відносяться:

- затримка транспортних засобів (ТЗ) та час у дорозі;
- наближене значення середньої швидкості;
- відсоток транспортних засобів, що зупинились на перехресті;

- середня довжина утворювальної черги ТЗ;
- кількість проїздів на забороняючий сигнал світлофору;
- відсоток лівоповоротних потоків;
- закон розподілу швидкості потоку;
- закон розподілу прискорення потоку.

При цьому поняття «конфлікт» визначає ситуацію, що спостерігається, за якої у часі і просторі наближаються один до одного два або більше учасників дорожнього руху у такій мірі, що існує ризик їх зіткнення, якщо траєкторія руху ТЗ залишиться незмінною.

Програмне забезпечення SSAM [30] працює шляхом обробки даних, які описують траєкторію руху ТЗ, які проходять через інфраструктурний дорожній об'єкт (рис.1.2).

На першому етапі роботи програми SSAM визначаються розмірності досліджуваної зони на основі файлу траєкторії (TRJ file), які визначаються шириною та довжиною прямокутника в метрах або футах. Для охоплення зони аналізу програма розбудовує сітку, вид якої представлено на рис.1.3. Розміри клітин сітки знаходиться у межах 15,25 м на 15,25 м (50 на 50 футів) в залежності від одиниць виміру, виставлених у файлі траєкторії. Розділ досліджуваної ділянки транспортної мережі на представлені зони дозволяє значно зменшити кількість порівнянь взаємодій типу «автомобіль-автомобіль» для ідентифікації потенційних конфліктів [30].

Далі проводиться аналіз окремих результатів імітації у файлі траєкторії. Для кожного ТЗ в межах ділянки, що підлягає аналізу, програма SSAM розраховує бажане положення ТЗ у функції від його поточної швидкості, якщо він продовжує рухатись за (майбутнім) шляхом до тих пір, поки не досягне налаштованої величини часу до зіткнення. Розрахунковий шлях ТЗ заснований на передбаченні наступних 10 секунд даних файлу траєкторії. Шлях представляє собою набір сегментів прямої форми, які зв'язані із наступними положеннями ТЗ. Порогове значення ТТС

визначається налаштуваннями користувача, та за замовчуванням дорівнює 1,5 с [28]. Саме таке значення часу до зіткнення пов'язане з тим, що конфлікти, які виникають при TTC більшому за 1,5 с, не приймаються до уваги дослідниками БДР при традиційному підході до її вивчення, оскільки вважається, що вони не мають особливого впливу на учасників дорожнього руху. Дані порогові значення використовуються для величини так званого «часу до зіткнення» (Time-to-collision, далі TTC) та «часу після вторгнення» (Post-encroachment time, далі PET).

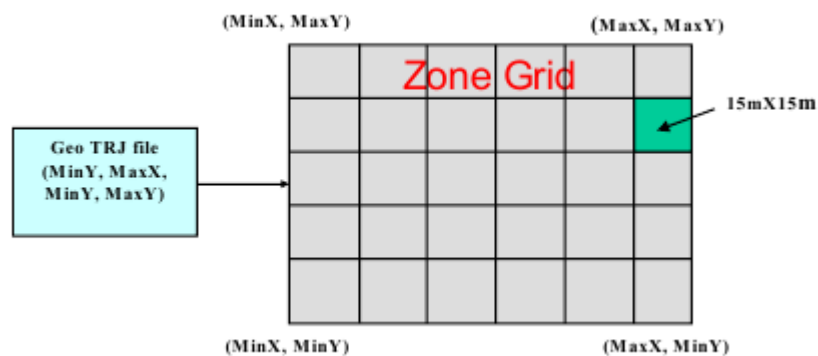


Рис.1.2. Сітка зони аналізу SSAM [30].

Знаходження найбільш вразливих до пошкоджень ділянок автомобіля залежать від умов, за якими виник конфлікт: на перехресті, в заторі, під час зміни полоси. В умовах перетину (*crossing*) найбільш уразливою є ділянка автомобіля, що підпадає під кутовий сектор 85 – 180 градусів; в умовах зміни полоси (*lane change*) – 30 – 85 градусів; в умовах наїзду ззаду (*rear-end*) – 0 – 30 градусів. (рис.1.3) [30].

SSAM надає зведений звіт у результаті аналізу (рис.1.4), у якому представлено різні типи конфліктів для кожної імітації, а також загальні та усередненні значення показників за усіма підходами.

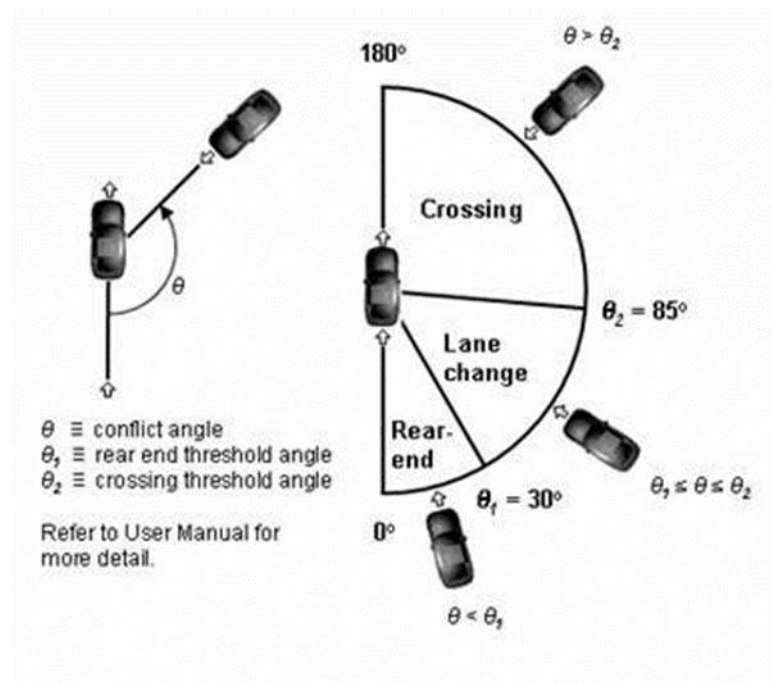


Рис. 1.3. Кутові сектори ураження автомобіля [30]

SSAM3

NO FILTER APPLIED					
Summary Group	SSAM_Measure	Min	Max	Mean	Variance
Summary Group	SSAM_Measure	Min	Max	Mean	Variance
Unfiltered-All F...	TTC	0.00	0.10	0.00	0.00
Unfiltered-All F...	PET	0.00	0.10	0.00	0.00
Unfiltered-All F...	MaxS	13.16	16.17	14.69	0.90
Unfiltered-All F...	DeltaS	10.68	23.76	18.69	14.93
Unfiltered-All F...	DR	-6.97	0.24	-0.58	2.51
Unfiltered-All F...	MaxD	-7.23	0.24	-1.12	4.67
Unfiltered-All F...	MaxDeltaV	5.51	14.70	10.49	5.68
Unfiltered-All F...	P(UFA)	1.00	1.00	1.00	0.00
Unfiltered-All F...	mTTC	99.00	99.00	99.00	0.00
Unfiltered-All F...	mPET	99.00	99.00	99.00	0.00
Summary Group	SSAM_Measure	Min	Max	Mean	Variance
Unfiltered-C:\...	TTC	0.00	0.10	0.00	0.00
Unfiltered-C:\...	PET	0.00	0.10	0.00	0.00
Unfiltered-C:\...	MaxS	13.16	16.17	14.69	0.90
Unfiltered-C:\...	DeltaS	10.68	23.76	18.69	14.93
Unfiltered-C:\...	DR	-6.97	0.24	-0.58	2.51
Summary Group	Total	unclassified	crossing	rear end	lane change
Unfiltered-All F...	20	0	10	1	9
Unfiltered-C:\...	20	0	10	1	9

Рис.1.4. Приклад зведеного звіту SSAM.

Алгоритм оцінки безпеки руху із використанням SSAM представлено на рис. 1.5.

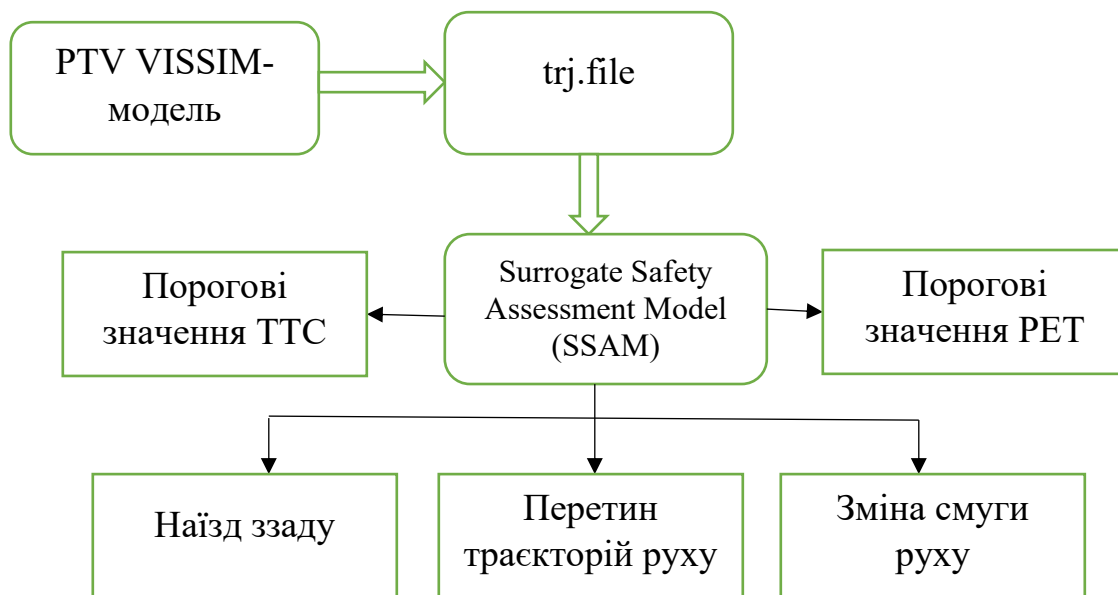


Рис.1.5. Оцінка безпеки руху за допомогою SSAM.

Зі створеної VISSIM-моделі перехрестя проводиться експорт файлу траєкторій руху ТЗ (.trj), який відповідає поточній імітації. Отриманий файл завантажується в програму SSAM, де виставляються порогові значення TTC та PET. У зведеному звіті SSAM отримаємо як кількісні показники по кожному із трьох типів конфліктів, так і статистику значень замісних показників TTC та PET. Теплова карта конфліктів є ще однією з опцій програми.

1.3. Загальна методика досліджень

Методика порівняння двох автоматизованих методів оцінки безпеки руху схематично зображена на рис.1.7. Спочатку проводяться відеозйомка дорожнього руху на перехресті у режимі низько розташованої камери (low attitude camera). Отриманий відеофрагмент завантажується у хмару платформи DataFromSky. Після обробки, в одержаному протоколі трасування проводиться налаштування конфігурації позначення відеофрагменту. Результати автоматизованого підрахунку

інтенсивності руху ТЗ , у тому числі, у вигляді матриць зародження-призначення служать вхідними параметрами для імітаційної моделі перехрестя в VISSIM. В DataFromSky проводиться аналіз безпеки руху із визначенням списку конфліктів та замісних показників TTC та PET, порогові значення яких встановлюються заздалегідь.

Створюється імітаційна модель перехрестя із налаштуванням опції запису файлу траєкторії. Вихідний файл траєкторії використовується в програмі SSAM, в якій попередньо встановлюються такі ж, як і в DataFromSky, значення порогових величин TTC та PET.

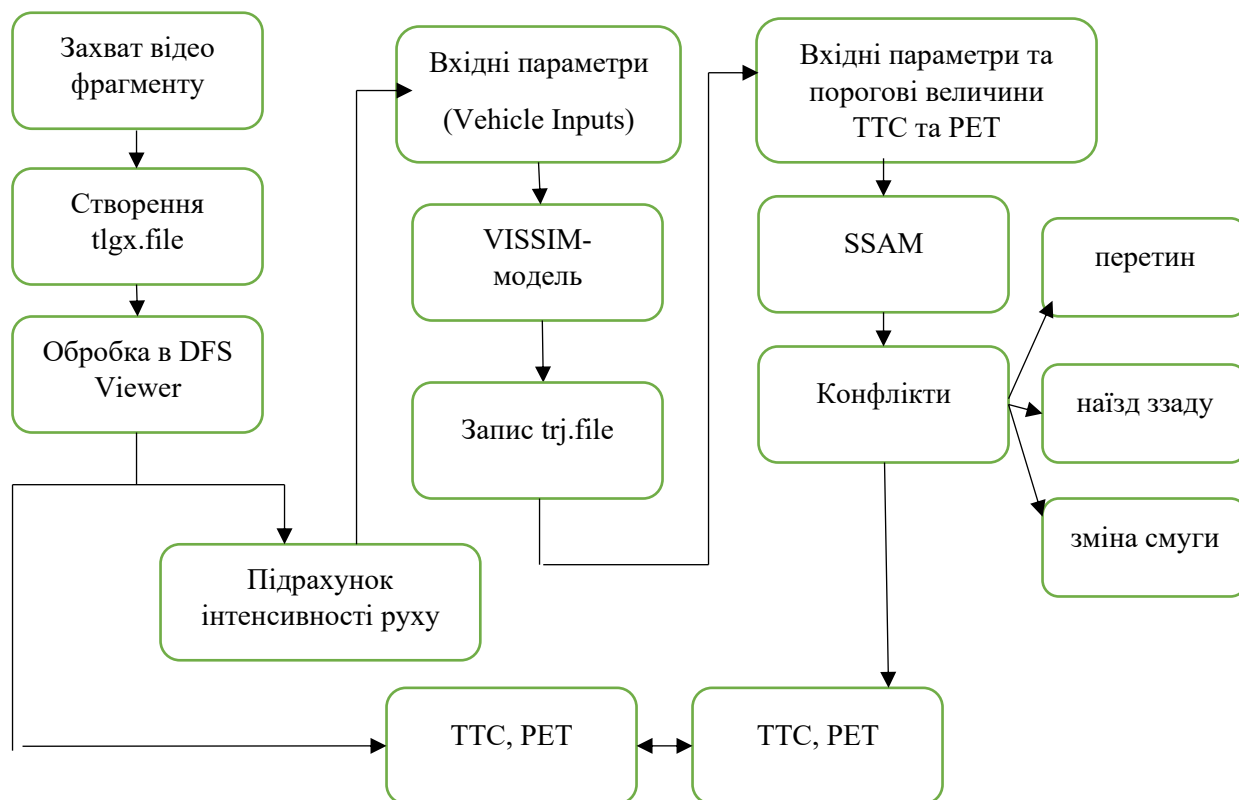


Рис.1.7. Загальна методика дослідження

Після аналізу файлу траєкторії в SSAM, отримуємо список конфліктів за типами та замісні показники безпеки, які порівнюємо з тими, що визначенні за допомогою DataFromSky.

1.4. Висновки до розділу 1

У роботі представлено загальну методику оцінки безпеки дорожнього руху із використанням методів автоматизованого аналізу транспортних розв'язок. Основна ідея методики полягає у порівнянні замісних показників безпеки руху, отриманих у результаті відеоаналізу дорожнього руху на перехресті, із замісними показниками, отриманими у результаті моделювання в SSAM. Для реалізації даного підходу необхідні

- збір вихідних даних на перехресті у вигляді запису відеороліку, в якому надійно прослідковуються усі напрямки руху транспорту;
- обробка отриманого відео в програмі інтелектуального аналізу руху DataFromSky;
- проведення аналізу безпеки руху за допомогою DataFromSky;
- створення імітаційної моделі перехрестя за допомогою симулятора руху VISSIM від PTV group, в якій вхідними параметрами по інтенсивності транспортних навантажень виступатимуть визначені в DataFromSky матриці зародження-призначення;
- обробка файлу траєкторії руху з VISSIM у програмному середовищі SSAM із встановленням порогових значень для замісних показників часу до зіткнення та часу після вторгнення відповідно до порогових значень для даних показників в DataFromSky;
- порівняння списків конфліктів за DataFromSky та SSAM;
- порівняння замісних показників за DataFromSky та SSAM.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ПРИКЛАДІ КІЛЬЦЕВОЇ РОЗВ'ЯЗКИ

2.1. Загальна характеристика кільцевої розв'язки

У даній роботі для відеозапису дорожнього руху за приклад прийнята кільцева розв'язка у центрі міста Кривий Ріг (Площа Горького – 95-й квартал). Кільцева розв'язка утворена перехрестям вулиць «проспект Миру», Волгоградської, «проспект Гагаріна» та «проспект Металургів». Основні транспортні потоки індивідуального та громадського транспорту міста проходять через даний транспортний вузол мережі. Вулиці мають по три смуги руху транспорту у кожному напрямку. Поблизу розв'язки розташовані будівля Виконкому Криворізької міської ради, ТЦ «Башта», ТЦ «Вікторі Плаза».

На проспекті Миру знаходиться зупинка громадського транспорту «площа Горького», через яку проходять маршрути автобусів, які працюють у режимі маршрутного таксі, під номерами №201, 203, 211, 214, 217, 240, 287, 298, 312, 314, 397. На вулиці Волгоградській розташовано зупинку з такою ж назвою, однак через неї проходять вже 15 автобусні маршрути у режимі маршрутного таксі та два у звичайному режимі (228, 228А), а також 4 маршрути тролейбусів. Через зупинку на проспекті Гагаріна проходить маршрути автобусів №27, 210, 203, тролейбусів – 1, 2, 20, 21, 24. Через зупинку на проспекті Металургів проходять маршрути №27, 210, 250, 261, 287, 302, 9, 208, 35, 255, 300а, тролейбусів – 2, 8, 11, 13а, 21, 24 [11].

Схема даної транспортної розв'язки представлена на рис.2.1.



Рис. 2.1. Фрагмент перехрестя, отриманий з карти Google Maps [12].



Рис.2.2. Супутникова карта досліджуваної ділянки.

2.2. Параметри вихідного відеозапису дорожнього руху на кільцевій розв'язці

Відеозапис отримано з камери відеоспостереження, розташованої в офісній будівлі за адресою «Проспект Металургів, 37», де розташований офіс мобільного оператора Київстар (рис.2.2). Частота кадрів вихідного відео становила 25 кадрів/с,

кількість кадрів – 154818, роздільна здатність відеопотоку – 1280 на 720 пікселів, що відповідає технічним умовам розробника програмного забезпечення DataFromSky. Тривалість відеоролику – 1 година 45 хвилин.

2.3. Позначення робочого простору відеокадру в Datafromsky Viewer

В DataFromSky Viewer для створення лічильників, смуг та прихованих зон, областей руху та дії необхідно налаштувати конфігурацію відповідного позначення кадру (*Manage Annotation Configuration*). Створені позначення робочого простору в Datafromsky Viewer представлено на рис.2.3. Конфігурація позначень робочого простору, яка складається з 17 смуг, 12 лічильників, області дій, області руху.

Лічильники поділяються на входні (під номерами 1, 4, 6, 8), нейтральні (25, 26, 27, 28) та вихідні (під номерами 2, 3, 5, 7). Місця розташування лічильників у робочому просторі показано на рис. 2.3. Напрями транспортних потоків, що проходять через встановлені лічильники, узагальнено у таблиці 2.1.

Властивості кожного лічильника задавались у відповідному меню програми. До них відносяться [9]:

- *Тип лічильника (Gate Type)* – встановлювався входний, вихідний або нейтральний (*Entry, Exit, Neutral*) той чи інший тип лічильника;
- *Напрямок лічильника (Gate Direction)* – встановлювався напрям, за якого об'єкти розпізнання підраховувались даним лічильником (для надійності відстеження задавався підрахунок в обох напрямках);
- *Режим ідентифікації об'єкта (Object detection mode)* – встановлювався метод, за яким відстежується об'єкт (на основі записів траєкторій);
- *Діапазон ідентифікації об'єкта (Object detection range)*– при виборі візуального детектора (*Visual Detector*) можливо обрати діапазон ідентифікації (50);

- *Кутова чутливість (Angular Sensitivity)* – налаштування чутливості лічильника, яка залежить від кута, під яким транспортний засіб його проходить (за рекомендаціями розробників програмного забезпечення встановлено рівним 90°);
- *Дозволені об'єкти (Allowed Objects)* – одна із найважливіших властивостей лічильника, у разі вибору даної опції обирається тип транспортного засобу, проходження якого буде підраховано лічильником (обрано всі типи об'єктів, окрім пішоходів);
- *Дозволені кольори (Allowed Colours)* – встановлюється, об'єкти якого кольору будуть підраховані у лічильнику (усі кольори);
- *Ярлик (Tag)* – поле, що використовується для встановлення ім'я лічильника.



Рис.2.3. Конфігурація позначень на перехресті.

Область дії призначена для виявлення присутності та перевищення швидкості об'єктів на певній ділянці робочого простору. Для досліджуваної

розв'язки область дії встановлено при виїзді з проспекту Миру на проспект Металургів (на кадрі зліва).

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 з проспекту Миру на кільце
Gate 2	Вихідний	Виїзд з кільця на проспект Металургів
Gate 3	Вихідний	Виїзд з кільця на проспект Миру
Gate 4	Вхідний	В'їзд з проспекту Гагаріна на кільце
Gate 5	Вихідний	Виїзд з кільця на проспект Гагаріна
Gate 6	Вхідний	В'їзд з проспекту Металургів на кільце
Gate 7	Вихідний	Виїзд з кільця на вулицю Волгоградську
Gate 8	Вхідний	В'їзд з вулиці Волгоградської на кільце

Конфігурація позначень послужила основою для розрахунку матриць кореспонденцій транспортних потоків на перехресті.

2.4. Визначення інтенсивності руху за напрямками

Матриця зародження-призначення (OD) показує основні параметри конкретного маршруту від вхідного до вихідного лічильника (кількість транспортних засобів, середній час їздки, мінімальний та максимальний час, стандартне відхилення). За матрицями зародження-призначення можливо визначити середньо годинні інтенсивності транспортних потоків за напрямками, які потребують особливої уваги.

Як видно з рис.2.5, найбільшою інтенсивністю характеризується маршрути від вхідного лічильника 8 (*Entry Gate 8*) до вихідного лічильника під номером 2 (*Exit Gate 2*) – від вулиці Волгоградської до проспекту Металургів, а також до вихідного

3 (*Exit Gate 3*) – те ж, до проспекту Миру) та 5 (*Exit Gate 5*) – те ж, до проспекту Гагаріна.

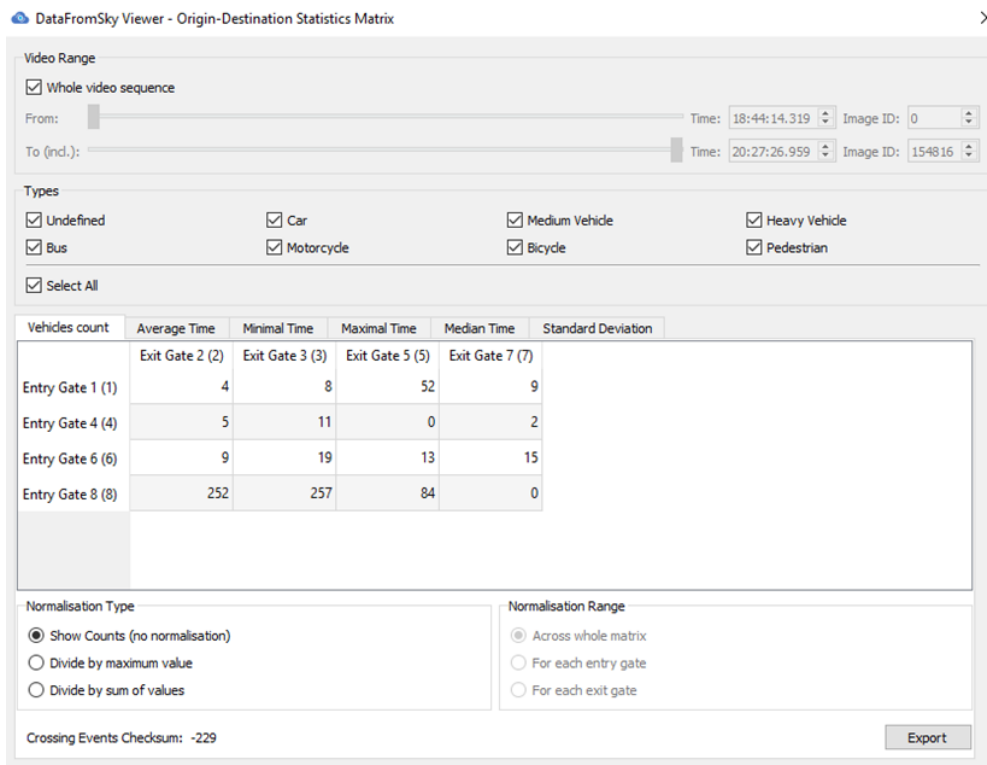


Рис.2.4. Матриця зародження-призначення за кількістю транспортних засобів на маршруті, одиниць, для всього відеоряду.

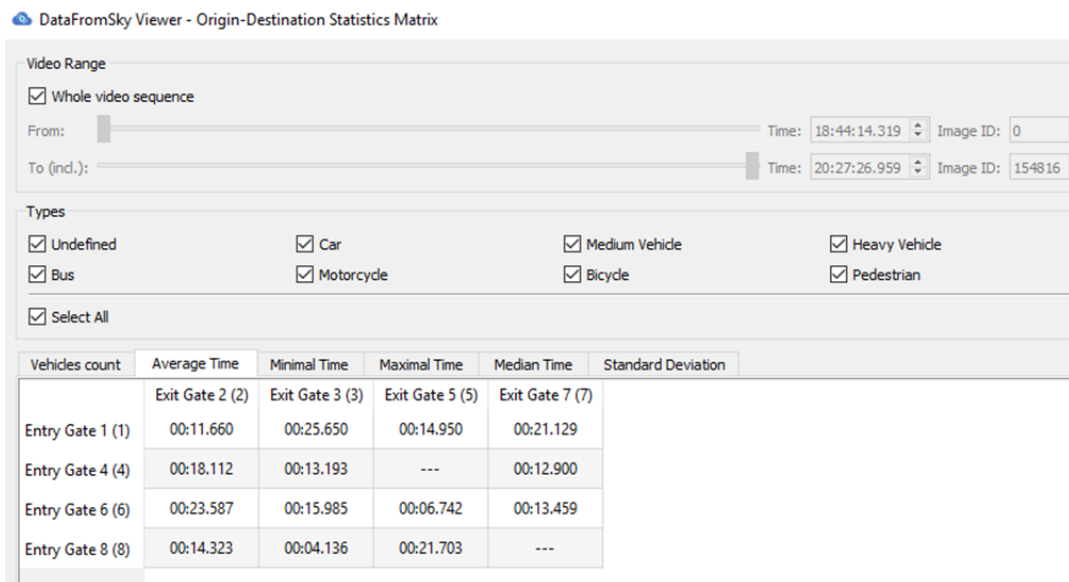


Рис.2.5. Матриця зародження-призначення за середнім часом руху, с.

За середнім часом руху на маршруті виділяються маршрути:

- від вхідного лічильника 6 (*Entry Gate 6*) до вихідного лічильника під номером 2 (*Exit Gate 2*) – розворот по кільцю з проспекту Металургів;
- від вхідного лічильника 8 (*Entry Gate 6*) до вихідного лічильника під номером 5 (*Exit Gate 5*) – з вулиці Волгоградської до проспекту Гагаріна;
- від вхідного лічильника 1 (*Entry Gate 1*) до вихідного 3 (*Exit Gate 3*) – розворот по кільцю з проспекту Миру;
- від вхідного лічильника 1 (*Entry Gate 1*) до вихідного 7 (*Exit Gate 7*) – рух з проспекту Миру до вулиці Волгоградської.

Таким чином, за матрицями зародження-призначення можемо бачити, що для даної кільцевої розв'язки час руху транспортних засобів на маршруті, перед усім, визначається довжиною даного маршруту, а не кількістю автомобілів, що його проходять. Залежність між інтенсивністю потоку та часу руху на маршруті не є однозначною та стійкою.

Представлення конкретних маршрутів із виділенням параметрів траєкторії руху (кількість підрахованих об'єктів, середній час проходження та ін.), які характеризуються у нашому випадку максимальними транспортними навантаженнями із їх кольоровим маркуванням на сцені, показано на рис. 2.6.

Для матриць зародження-призначення доступна функція графіків потоку, яка показує загальну кількість об'єктів, що рухаються між відповідними лічильниками (рис.2.7).

Відповідно до матриць зародження-призначення створено графіки потоків, у тому числі, для тих маршрутів, які мають більшу у порівнянні з іншими інтенсивність руху автотранспорту (від вхідного лічильника 8 (*Entry Gate 8*) до вихідного лічильника під номером 2 (*Exit Gate 2*), а також до вихідного 3 (*Exit Gate 3*)).

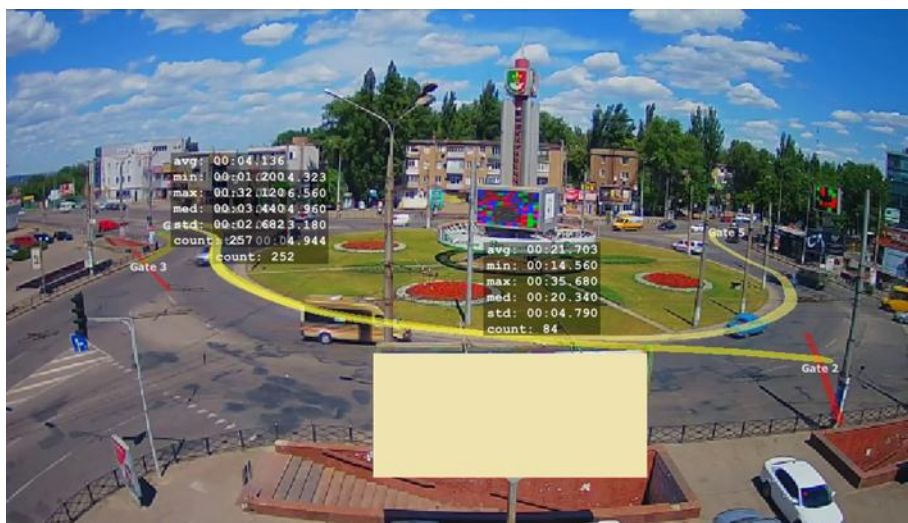


Рис. 2.6. Візуалізація параметрів траєкторій руху об'єктів для найбільш навантажених маршрутів.

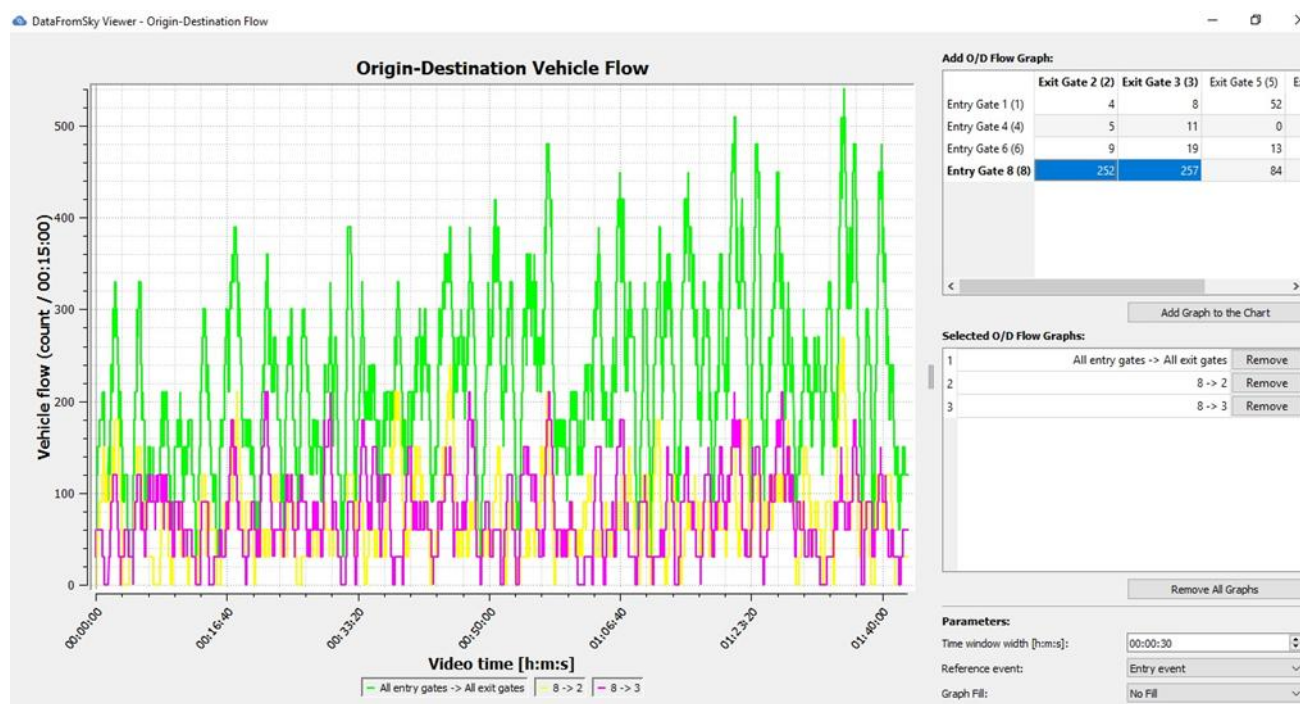


Рис. 2.7. Графіки потоків на всіх (зелена лінія) та на двох найбільш навантажених маршрутах.

2.5. Автоматизована оцінка безпеки руху за допомогою DataFromSky Viewer

Після проведення аналізу безпеки руху у програмі DataFromSky Viewer з'являється список конфліктів. Програмою надається інформація про всі виявлені конфлікти, які упорядковуються від найбільш тяжких до найменш критичних. Пороговим значенням для TTC обрано 1,5 с, для PET – 5 с. Для визначення замісних показників безпеки руху TTC та PET використано модель Акермана, як більш точну у порівнянні із моделлю на основі вектору швидкості (розділ 1, п.1.1).

Окрім середнього значення TTC та PET, програмою визначаються додаткові замісні показники безпеки для кожного виявленого конфлікту, що визначається перетином траєкторій руху ТЗ.

До них відносяться [9]:

- *Тривалість виявлення TTC (Time Exposed TTC)* – показує кількість часу, коли значення TTC є нижчим за порогову величину.
- *Тривалість нарощування TTC (Time Integrated TTC)* – представляє собою площу TTC, що знаходиться нижче порогової величини.
- *Найменший час до зіткнення (Worst Time to Collision)* – показує найменшу тривалість часу виникнення конфлікту.
- *Час гальмування (Breaking Time)* – показує час, за який величина уповільнення транспортного засобу буде більшою за встановлене значення.
- *Інтенсивність гальмування (Deceleration Rate)* – показує максимальну величину уповільнення у конфлікті.

На перехресті за допомогою DataFromSky Viewer виявлено 59 можливих конфліктів, з яких 45 характеризуються значенням TTC у 0,04 с. Це значення одночасно є найгіршим серед всього діапазону виявлених TTC. В основному конфлікти відбуваються між легковими автомобілями та маршрутними таксі. Напрямами руху, які перетинаються із високою частотою випадків, є траєкторія

руху по кільцю в одному із напрямків із траєкторією, пов'язаною із виїздом на кільцеву розв'язку.

Для кількості випадків більше 50 доцільно представити частотну гістограму розподілу показника. На рис.2.8 представлена гістограма розподілу показника тривалості нарощування ТТС. Більшість випадків (16) припадає на значення даного показника у $0,16 \text{ с}^2$. Зазначимо, що площа під кривою ТТС може бути різною для однакових порогових значень ТТС. Гістограма розподілу тривалості виявлення ТТС буде аналогічною представлений на рис. 2.8.

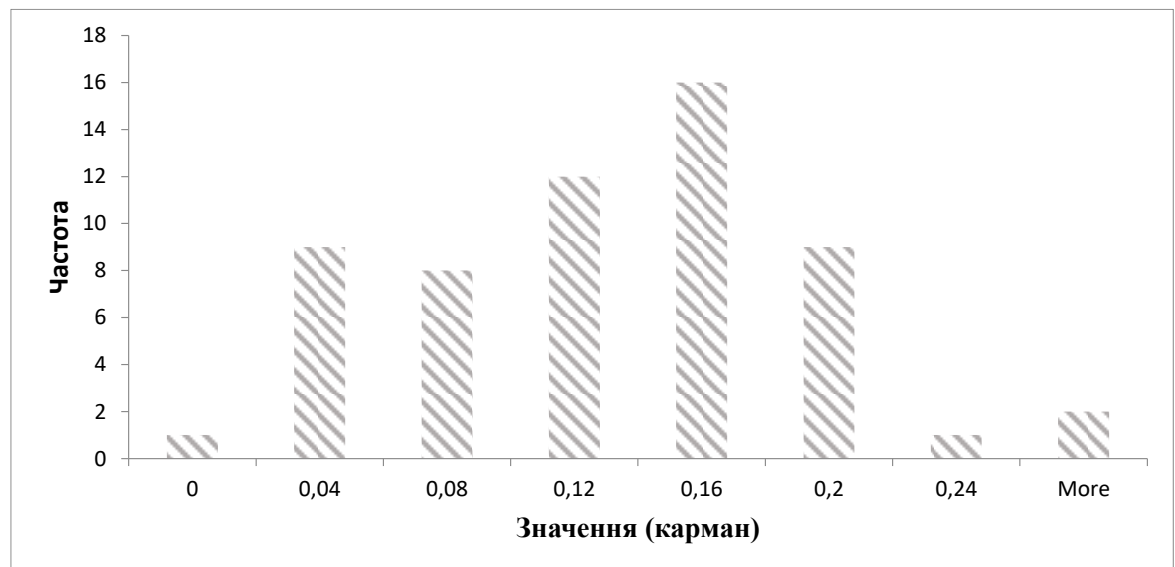


Рис.2.8. Гістограма розподілу показника тривалості нарощування ТТС (с^2).

DataFromSky надає можливості візуалізації робочого простору по кожному виявленому випадку потенційного конфлікту. Приклад можливого конфлікту ТЗ із максимальним значенням ТТС у $1,49 \text{ с}$, представлено на рис.2.9.

За показником РЕТ виявлено 561 потенційний конфлікт. Найбільша кількість випадків – від 30 до 35, за яких значення показника РЕТ знаходиться у діапазонах від 647 мс до 862 мс, від 1293 мс до 1509 мс, від 3234 мс до 3450 мс, від 4744 мс до 5000 мс (порогова величина). Нульове значення показника означає виникнення конфлікту, таких випадків виявилось 4. Перегляд відеореяду показав, що

для всіх чотирьох випадків із нульовим значенням РЕТ, конфліктів при взаємодії ТЗ не виникало. Для прикладу на рис.2.11 показаний кадр з траєкторіями об'єктів розпізнання при РЕТ=0 с.



Рис.2.9. Приклад потенційного конфлікту при ТТС=1,49 с.

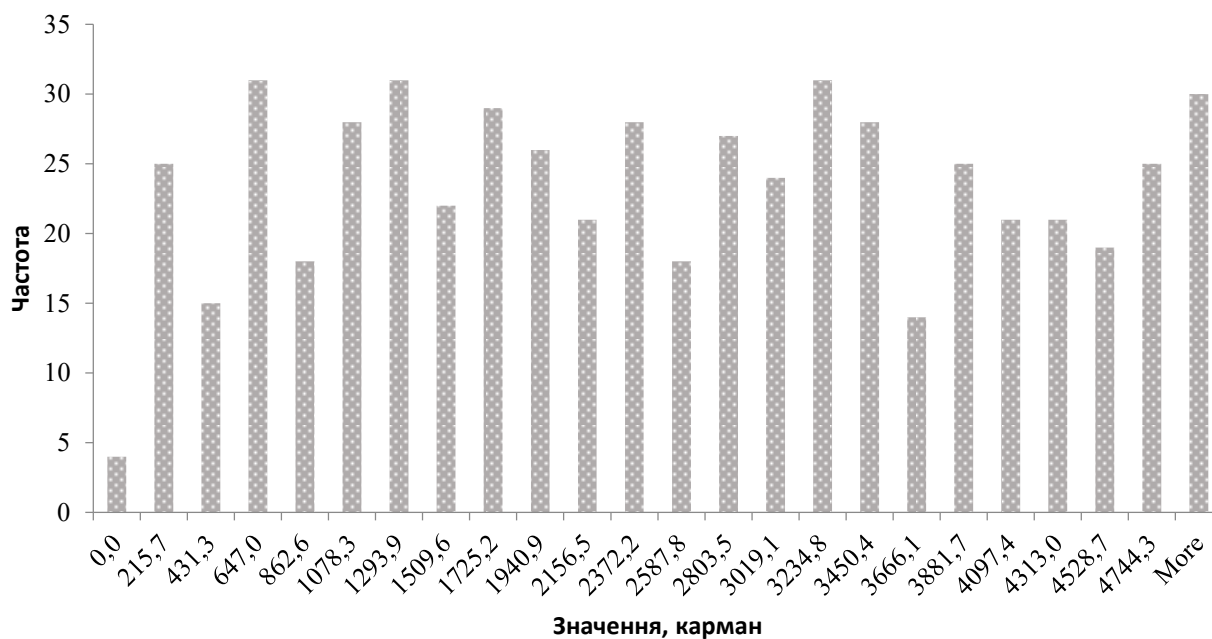


Рис.2.10. Гістограма розподілу замісного показника безпеки руху РЕТ.



Рис. 2.11. Приклад конфлікту траєкторій ТЗ при $PET=0$ с.

2.6. Розробка імітаційної моделі кільцевої розв'язки.

Реалізація моделі перехрестя проводиться за допомогою програми мікромоделювання транспортних потоків PTV VISSIM. Програма моделювання транспортних потоків VISSIM складається із чотирьох структурних блоків: інфраструктурні об'єкти; організація дорожнього руху; дорожній рух; оцінка результатів.

Для формування географічної підоснови було скомпоновано карти, отримані з супутника (рис. 2.1). Для забезпечення відповідності растрової основи геометричним параметрам реальної вуличної мережі проведено її масштабування.

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 [10].

Для визначення інтенсивності вхідного потоку (авто/год.) у VISSIM необхідно активувати відповідний пункт «Вхідні потоки ТЗ» в боковій панелі об'єкта мережі. Значення інтенсивності руху транспорту для відповідних маршрутів було взято із результатів аналізу руху в DataFromSky Viewer.

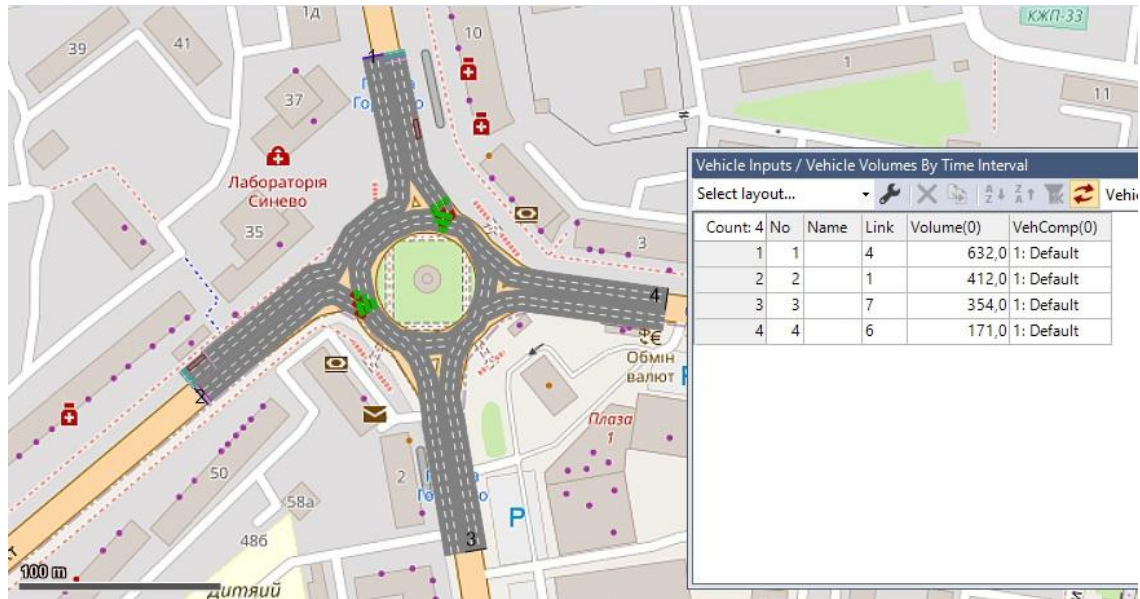


Рис.2.12. Інтенсивність вхідних транспортних потоків.

Основний маршрут руху транспортних засобів – від вулиці Волгоградської до проспекту Металургів. Введення маршрутів індивідуального транспорту для досліджуваного перехрестя представлено на рис. 2.13.

Досліджуваний транспортний вузол включає в себе рух громадського транспорту у вигляді автобусних маршрутних транспортних засобів. Середній інтервал руху автотранспортних засобів – 5 хв. За допомогою даного програмного засобу моделювання маршрутів громадського транспорту проводиться за допомогою функції «Маршрути ГТ» [10]. При цьому вхідними параметрами даних маршрутів є інтервал руху, швидкість ТЗ і час їх під'їзду до перехрестя.

Для розміщення зупинки на обраному відрізку необхідно активується пункт «Зупинки ГТ» в бічній панелі об'єкта мережі.

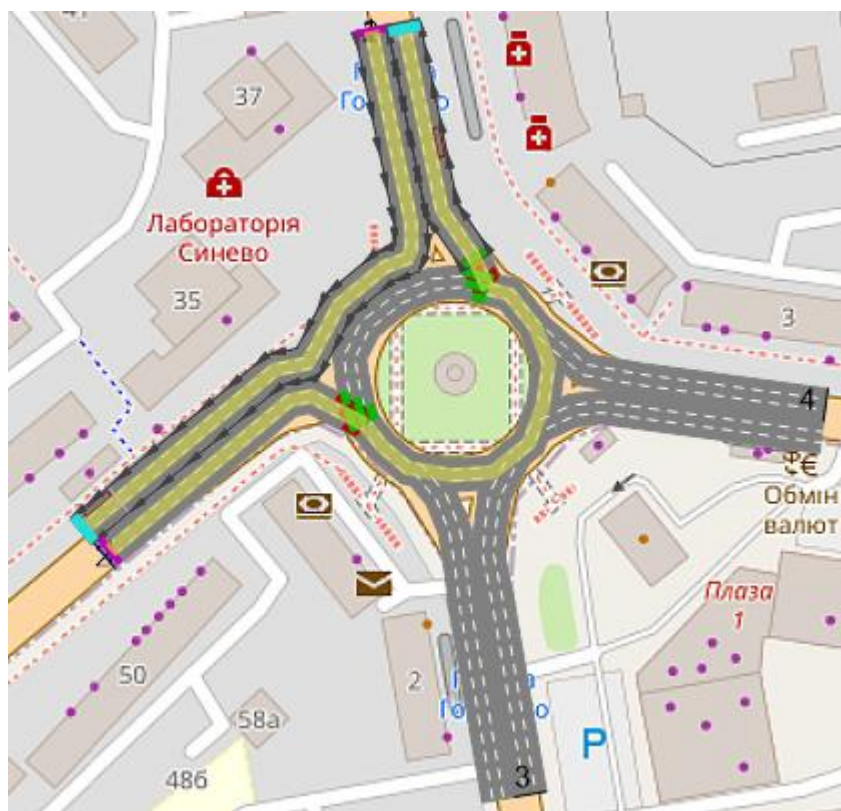


Рис.2.13. Введення маршрутів індивідуального транспорту

PTV VISSIM визначає право пріоритетного проїзду конфліктних місць за допомогою виділення конфліктних зон. Для кожної конфліктної зони може бути обраний відрізок, який має пріоритет, конфліктна зона також може бути пасивною і не мати ніякого впливу на транспортні засоби. Для того, щоб встановити правила пріоритетного проїзду спершу необхідно активувати відповідний пункт «Конфліктні зони» в бічній панелі об'єкта мережі [10].

При створенні моделі пріоритети проїзду ТЗ були дозволені відповідно до нової редакції правил дорожнього руху, відповідно до яких кільце є головною дорогою по відношенню до трас, що примикають [3].

Відповідно до налаштувань VISSIM результати кожної реплікації імітаційної моделі записані у вигляді окремого файлу траєкторії формату «.trj», який у подальшому використано в програмі SSAM для автоматизованого аналізу безпеки руху.

2.7. Аналіз конфліктів та замісних показників безпеки руху в SSAM

У SSAM використовуються дві порогові величини для замісних показників безпеки руху для визначення характеру взаємодії між ТЗ, яка ідентифікується як конфлікт. Як вже зазначалось, ці порогові величини встановлюються для часу до зіткнення (TTC) та часу після вторгнення (PET), значення яких за замовчуванням дорівнюють 1,5 с та 5 с відповідно.

Представимо означення для замісних показників безпеки руху, яке надається розробниками SSAM [30].

TTC – значення мінімального часу до зіткнення, що спостерігається під час конфлікту. Оцінка заснована на поточному положенні, швидкості руху та майбутній траєкторії двох транспортних засобів у миттєвий проміжок часу. Визначається для кожного часового кроку протягом події. Конфлікт вважається завершеним після того, як величина TTC перевищує порогову величину

PET – мінімальний час після вторгнення, що спостерігається під час конфлікту. Представляється як різниця між часом прибуття першого транспортного засобу у дане положення та часом, за який інший транспортний засіб послідовно зайняв те ж саме положення. При величині $PET=0$ настає подія конфлікту. Конфлікт вважається завершеним у разі ідентифікації порогового значення PET у кінцевому положенні транспортного засобу, коли величина часу до зіткнення залишається нижчою певної критичної величини.

Дані результатів імітаційного моделювання обробляються програмою для визначення взаємодії ТЗ, яка задовольняє певним класифікаційним ознакам.

Під час аналізу виявляється кожен конфлікт, включаючи дані з файлів траєкторії всіх відповідних реплікацій моделювання, що відображається у таблиці конфліктів. У ній представлена детальна інформація по кожному конфлікту, враховуючи час, розташування та замісні показники безпеки.

Також для кожної реплікації доступний зведений звіт, який включає відомості по кількості конфліктів різних типів, середні та узагальнені значення вихідних показників.

Звіт по замісним показникам по досліджуваній кільцевій розв'язці представлений у табл.2.1

Табл.2.2

Зведений звіт по замісним показникам безпеки (ТТС, РЕТ)

Замісний показник	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення	Дисперсія
ТТС	0	1,5	0,10	0,10
РЕТ	0	4,5	0,19	0,11

Для даної розв'язки відповідно до SSAM можливо 23 конфлікту, з яких 4 пов'язані із перетином траєкторій, 12 – наїздом ззаду, 7 – перебудовою (зміною смуги руху).

Теплова карта конфліктів показана на рис.2.14. Як видно з неї, найбільш напруженою ділянкою є напрямок руху транспорту «вулиця Волгоградська – кільце 95-го кварталу– проспект Миру».

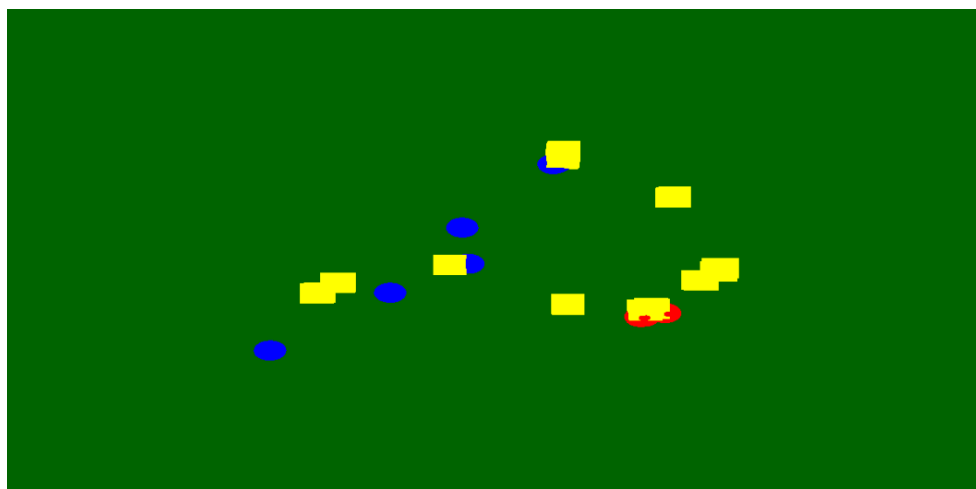


Рис. 2.14. Теплова карта конфліктів

2.8. Порівняння методів автоматизації оцінки безпеки руху

Порівняння двох методів автоматизації оцінки безпеки руху проводилось за такими критеріями:

- за загальною кількістю потенційних конфліктів;
- за замісними показниками безпеки руху;
- за відповідністю моделям прогнозу дорожньо-транспортних пригод на основі інтенсивності руху.

Загальна кількість виявлених конфліктів у програмі DataFromSky Viewer становила 59 за показником TTC, 561 – за показником PET, у програмі SSAM – 23 конфлікту. Кожному визначеному в SSAM конфлікту відповідає певне значення TTC та PET, а сам конфлікт за траєкторією взаємодії ТЗ відповідно до прийнятої схеми кутових секторів ураження (рис.1.3) характеризується конкретним типом (наїзд ззаду, перетин, зміна смуги руху). Таким чином, можна стверджувати, що у DataFromSky Viewer визначено більше ніж в SSAM на 36 випадків конфліктів за TTC, та на 538 випадків за PET. Кількість значень PET з нульовими значеннями в SSAM становило 18 випадків, в DataFromSky Viewer – 5. При зміні порогової величини PET в DataFromSky Viewer за замовчуванням, рівної 2 с, програма розпізнає 233 конфлікти. Таким чином, DataFromSky Viewer більш детально ідентифікує час після вторгнення, однак безпосередньо кількість випадків призначення події у якості конфлікту, що відбувся, більша за SSAM.

Статистичне порівняння методів автоматизації оцінки безпеки руху показує, що різниця у отриманих середніх значеннях замісних показників для двох програм становила відповідно для TTC 28,5%, для PET – 92,2%, що є значними показниками. Однак дисперсія для генеральної сукупності по TTC, визначена за технологією штучного інтелекту DataFromSky значно менша, ніж за SSAM-підходом – 0,069 проти 0,10, а за показником PET більша – 2,05 проти 0,11. За якісними критеріями у порівнянні з DataFromSky, SSAM показує більш оптимістичний прогноз безпеки

руху відповідно до TTC із середнім значенням останнього у 0,10 с проти 0,14 с, за PET – 0,19 с проти 2,44 с.

Кінцевий висновок про якість оцінки безпеки руху на основі двох програмних методів автоматизації проводиться за їх відповідністю моделям прогнозу дорожньо-транспортних пригод, що використовують показники інтенсивності руху.

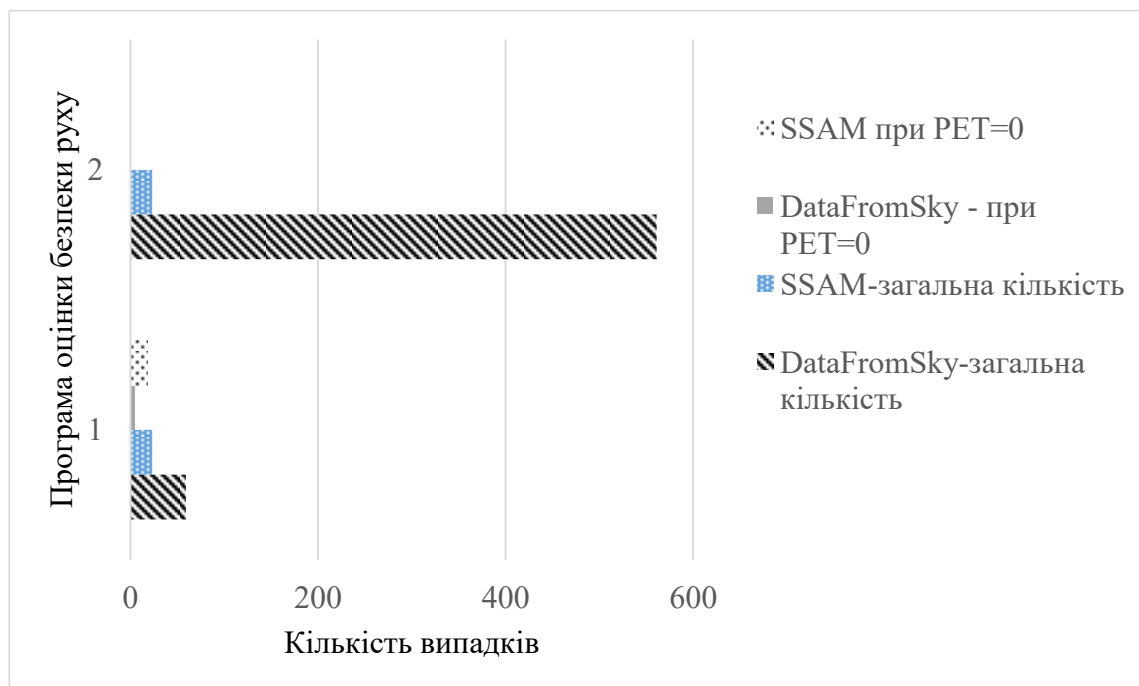


Рис.2.15. Кількість конфліктів за програмами автоматизації оцінки безпеки руху DataFromSky Viewer та SSAM відповідно до замісних показників: 1 – TTC (max=1,5 с); 2 – PET (max=5 с).

Табл.2.3.

Порівняння замісних показників безпеки руху за двома методами оцінки

Замісний показник	Мінімальне значення		Максимальне значення		Середнє значення		Відносне відхилення середнього значення	Дисперсія	
	DFS	SSAM	DFS	SSAM	DFS	SSAM		DFS	SSAM
TTC	0,04	0	1,19	1,5	0,14	0,10	28,5%	0,069	0,10
PET	0	0	4,95	1,10	2,44	0,19	92,2%	2,05	0,11

Прогнозна модель конфліктів на кільцевій розв'язці для випадку вхідних та кругових потоків представлена формулою []:

$$A = 0,052 \cdot Q_e^{0,7} \cdot Q_c^{0,4} \cdot \exp(-40 \cdot C_e + 0,14 \cdot e - 0,07 \cdot e \cdot v - \frac{1}{1 + \exp(4 \cdot R - 7)} + 0,2 \cdot P_m - 0,01 \cdot \theta) \quad (2.1)$$

де A – кількість потенційних конфліктів за годину спостережень при наближенні до кільцевої розв'язки; Q_e – вхідний потік (авто/год.); Q_c – круговий потік (авто/год.); C_e – кривизна вхідної кривої ($1/R_e$); R_e – радіус вхідного шляху для найкоротшої траєкторії (м); e – ширина вхідного потоку (м); v – ширина підходу (м); R – відношення діаметру кільця до діаметру острівця; P_m – доля мотоциклів (%); θ – кут між центральними лініями двох доріг, що перехрещуються на кільці (град.).

Для випадку наближення до кільцевої розв'язки:

$$A = 0,057 \cdot Q_e^{1,7} \cdot \exp(-40 \cdot C_e - 0,1 \cdot \theta) \quad (2.2)$$

Значення параметрів у формулі (2.1) для досліджуваної кільцевої розв'язки «кільце 95-го кварталу» у місті Кривий Ріг із джерелами їх отримання, представлено у табл. 2.4.

Табл.2.4

Числові значення параметрів моделі

Параметр	Значення	Джерело отримання числових значень
Q_e , авто/год.	1569	Статистика по лічильникам з DataFromSky Viewer за 1 годину відео. Визначалось як сума підрахованих об'єктів по вхідним лічильникам Gate 1, Gate 4, Gate 6, Gate 8.
Q_c , авто/год.	1795	Статистика по лічильникам з DataFromSky Viewer за 1 годину відео. Визначалось як сума підрахованих об'єктів по нейтральним лічильникам Gate 25, Gate 26.

C_e	0,10	Формула 2.1
R_e , м	9,10	Замір відповідних позицій на робочому просторі в DataFromSky Viewer
e , м	14,72	Замір відповідних позицій на робочому просторі в DataFromSky Viewer
v , м	17,22	Замір відповідних позицій на робочому просторі в DataFromSky Viewer
R	1,40	Замір відповідних позицій на робочому просторі в DataFromSky Viewer
P_m , %	0,97	Статистика протоколу трасування
θ , град.	90	Ресурс Google Map

Після проведення розрахунків за формулами (2.1) – (2.2) встановлено, що кількість потенційних конфліктів, які виникають при взаємодії вхідних транспортних потоків та потоків на кільці за годину становить 3 випадки, при наближенні до перехрестя – 17. Враховуючи нульові значення РЕТ, отримані за допомогою двох досліджуваних методів автоматизації безпеки руху, що відповідають події конфлікту, можна стверджувати, що технологія DataFromSky дає прогностичний результат близький до випадку описання характеру взаємодії вхідних та кругових потоків на кільцевій розв'язці (4 конфлікту при РЕТ=0), а SSAM – до випадку описання потоків наближення (18 конфліктів при РЕТ=0).

Табл.2.5

**Кількісне порівняння технологій автоматизації безпеки руху з
моделями прогнозу ДТП на основі інтенсивності руху**

DataFromSky Viewer	SSAM	Модель прогнозу ДТП на основі інтенсивності руху
4	18	3 – для взаємодії вхідних та кругових потоків, 17 – для потоків наближення

2.9. Висновки до розділу 2

У роботі проведено порівняльний аналіз методів автоматизації оцінки безпеки дорожнього руху, одна з яких засновується на технології штучного інтелекту DataFromSky, інша – на основі аналізу траєкторій руху із програм імітаційного моделювання (VISSIM) із використанням замісних показників SSAM.

Для цього проведено такі дослідження:

1. З камери відеоспостереження, розташованої в офісній будівлі за адресою «Проспект Металургів, 37» (місто Кривий Ріг) отримано відеозапис дорожнього руху на кільці 95-го кварталу.

2. Після обробки відеозапису в хмарному сервісі DataFromSky для робочого простору отриманого протоколу трасування створено конфігурацію позначень відповідно до поставлених задач.

3. За допомогою DataFromSky Viewer встановлено, що на досліджуваному перехресті можливо виникнення 59 конфліктів транспортних засобів, з яких 45 випадків характеризується часом до зіткнення (ТТС) у 0,04 с. Порогова величина ТТС встановлена у 1,5 с. В основному конфлікти відбуваються між легковими автомобілями та маршрутними таксі. Напрямами руху, які перетинаються із високою частотою випадків, є траєкторія руху по кільцю в одному із напрямків із траєкторією, пов'язаною із виїздом на кільцеву розв'язку. За замісним показником безпеки часу після вторгнення (РЕТ) виявлено 561 потенційний конфлікт. Найбільша кількість випадків – від 30 до 35, за яких значення показника РЕТ знаходиться у діапазонах від 647 мс до 862 мс, від 1293 мс до 1509 мс, від 3234 мс до 3450 мс, від 4744 мс до 5000 мс (порогова величина). Нульове значення показника означає виникнення конфлікту, таких випадків виявилось 4.

4. Створено імітаційну модель перехрестя «кільце 95-го кварталу» у програмному забезпеченні PTV VISSIM із використанням показників

інтенсивностей руху транспортних засобів, які проходять через вхідні лічильники в DataFromSky Viewer.

5. Записи траєкторій руху транспортних засобів з PTV VISSIM використано у програмі оцінки безпеки руху SSAM.

6. Відповідно до аналізу траєкторій в SSAM на перехресті можливо виникнення 23 конфлікту, з яких 4 пов'язані із перетином траєкторій, 12 – наїздом ззаду, 7 – перебудовою (змінюючи смуги руху).

7. Статистичне порівняння методів автоматизації оцінки безпеки руху DataFromSky та SSAM показало, що різниця у отриманих середніх значеннях замісних показників для двох програм становила відповідно для TTC 28,5%, для PET – 92,2%, що є значними показниками. Дисперсія для генеральної сукупності по TTC, визначена за технологією штучного інтелекту DataFromSky значно менша, ніж за SSAM-підходом – 0,069 проти 0,10, а за показником PET більша – 2,05 проти 0,11. За якісними критеріями у порівнянні з DataFromSky, SSAM показує більш оптимістичний прогноз безпеки руху відповідно до TTC із середнім значенням останнього у 0,10 с проти 0,14 с, за PET – 0,19 с проти 2,44 с.

8. Порівняння двох методів оцінки безпеки руху з моделлю прогнозу кількості ДТП на основі інтенсивності руху транспортних засобів дозволило встановити, що DataFromSky дає прогноз близький до описання характеру взаємодії вхідних та кругових потоків на кільцевій розв'язці (4 конфлікту при $PET=0$), а SSAM – до випадку описання потоків наближення (18 конфліктів при $PET=0$).

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ

3.1 Метод визначення ефективності автоматизації оцінки безпеки руху

Економічна оцінка використання автоматизації оцінки безпеки дорожнього руху представляє собою порівняння експлуатаційних витрат на проведення досліджень у відповідному програмному забезпеченні. У разі застосування технології штучного інтелекту DataFromSky необхідне підключення до тарифного плану виробника програмного забезпечення для активації облікового запису із наданням кредитів для обробки відеозаписів дорожнього руху. Якщо використовуються програми імітаційного моделювання, питання полягає в оплаті праці спеціаліста з транспортного моделювання. Безпосередньо SSAM представляється FHWA на безоплатній основі [30].

Метою оцінки ефективності методу автоматизації безпеки дорожнього руху є обґрунтування доцільності вкладення коштів для підключення до тарифного плану або оплати праці спеціаліста з транспортного моделювання.

Економічний ефект визначатиметься різницею витрат, пов'язаних із використанням двох методів оцінки безпеки руху:

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

C_1 – експлуатаційні витрати на автоматизовану оцінку безпеки руху за допомогою методу VISSIM/SSAM; C_2 – експлуатаційні витрати на автоматизовану оцінку безпеки руху за допомогою DataFromSky.

Перша складова визначатиметься:

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

де A – питома вартість використання ліцензії програмного забезпечення (грн./доба)
 T_{ij} – час, необхідний на виконання робіт j -того профілю (розробка імітаційної

моделі перехрестя) працівниками i -тої посади (експерт з транспортного моделювання – traffic modeler); N_{ij} – кількість виконавців i -тої посади, задіяних у роботі j -того профілю; p_{ij} – погодинна оплата j -тої праці i -того виконавця робіт.

Питома вартість використання академічного пакету програми імітаційного моделювання:

$$A = V \cdot /M \cdot n \cdot 365$$

де V – ціна ліцензії, грн.; M – кількість персональних комп'ютерів, для яких надається ліцензія; n – кількість років, протягом яких дійсна ліцензія; 365 – кількість днів у році.

Друга складова визначатиметься:

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

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 – traffic modeler); 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.

3.2. Аналіз економічної ефективності використання технологій DataFromSky та VISSIM/SSAM

Визначення економічного ефекту від впровадження технології DataFromSky та VISSIM/SSAM для автоматизації оцінки безпеки дорожнього руху проводилось на прикладі відеозапису руху на досліджуваному перехресті кільця 95-го кварталу.

На виконання робіт з розробки імітаційної моделі перехрестя в VISSIM витрачено 90 хв. (1,5 години), середня погодинна ставка експерта з транспортного моделювання становить 8 євро (239,2 грн.) [10]. Вартість академічної ліцензії VISSIM на 3 роки на 100 машин становить 5000 євро [10]. Враховуючи поточний курс євро, питома вартість використання академічного пакету VISSIM становить, грн./доба:

$$A = 5000 \cdot 29,29 \cdot /3 \cdot 100 \cdot 365 = 1,33.$$

Виходячи з цього,

$$C_1 = 1,33 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 239,2 = 477 \text{ грн.}$$

На геореєстрацію, маркування робочого простору відеофрагменту в DataFromSky та експорт результатів аналізу руху було витрачено 60 хв. (1 год.). Середня погодинна ставка експерта з транспортного моделювання становить 8 євро (239,2 грн.) [29]. Для обробки відеозапису було витрачено 8,67 кредитів (співвідношення між кредитами та годинами відео для даного режиму становить 1:5). Вартість одного кредиту для «areal» режиму, який дозволяє обробити 1 годину відео з безпілотного літального апарату, становить 14,5 євро (433 грн.) [9].

Звідси експлуатаційні витрати на автоматизацію оцінки безпеки руху за допомогою програми DataFromSky становитимуть:

$$C_2 = 1,0 \cdot 1 \cdot 239,2 + 1,734 \cdot 433 = 988 \text{ грн.}$$

Таким чином, використання технології VISSIM/SSAM дозволяє скоротити витрати на автоматизацію оцінки безпеки руху на 52% у порівнянні з DataFromSky.

РОЗДІЛ 4. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ПРИ ПРОЇЗДІ КІЛЬЦЕВИХ РОЗВ'ЯЗОК

Правила безпечного проїзду кільцевих розв'язок регулюються Законом України про дорожній рух [1], Правилами дорожнього руху (проїзд нерегульованих перехресть, п.16.11, 16.14) [2], ГБН В.2.3-37641918-555:2016 «Транспортні розв'язки в одному рівні проектування» [3].

На розв'язках доріг в одному рівні необхідно забезпечувати видимість відповідно до [4]. Не допускається розміщення будь-яких споруд, у тому числі тимчасових, та зелених насаджень заввишки понад 1,2 м у зоні видимості відповідно до [4].

Організація дорожнього руху на нерегульованих перехрестях здійснюється за допомогою дорожніх знаків згідно з [7] та дорожньої розмітки згідно з [8].

Відповідно до [2], для кільцевих розв'язок у місцях з пішохідним та/або велосипедним рухом необхідно влаштовувати пішохідні переходи та/або велосипедні доріжки з облаштуванням острівцями безпеки з урахуванням 7.4. Пішохідні переходи та/або велосипедні доріжки слід позначати відповідними дорожніми знаками та розміткою згідно з нормативними документами. Велосипедні доріжки при перетині проїзної частини можуть бути як відокремлені, так і суміщені з пішохідними переходами.

Знак 4.10 «Круговий рух» не слід застосовувати на розрізаних кільцях, де поряд з круговим існує і перехресний рух. ОДР стосовно пріоритету у русі на транспортних розв'язках з розрізаним кільцем необхідно здійснювати як на двох окремих лінійних перехрещеннях за допомогою відповідних знаків пріоритету та наказових знаків [2].

На центральному острівці великих та середніх кільцевих розв'язок, які позначені знаком 4.10 «Круговий рух», допускається встановлення знаків 1.4.1 «Напрямок повороту» згідно з нормативними документами.

Зміни до правил проїзду кільцевих розв'язок було внесено до Правил дорожнього руху у 2017 році. Відповідно до п.16.12 Правил [3] *Перевага в русі на нерегульованих перехрестях, де організовано круговий рух і які позначені дорожнім знаком 4.10 «Круговий рух» надається транспортним засобам, які вже рухаються по колу.* Крім того, на перехресті рівнозначних доріг водій нерейкового транспортного засобу зобов'язаний дати дорогу транспортним засобам, що наближаються праворуч, *крім перехресть, де організовано круговий рух* [3]. На будь-якому нерегульованому перехресті трамвай, незалежно від напрямку його подальшого руху, має перевагу перед нерейковими транспортними засобами, що наближаються до нього по рівнозначній дорозі, *крім перехресть, де організовано круговий рух* [3].

Також у п.10.5 визначається, що *виїзд з перехрестя, де організовано круговий рух, може здійснюватися з будь-якої смуги, якщо напрямок руху не визначено дорожніми знаками чи розміткою і це не створить перешкод транспортним засобам, що рухаються в попутному напрямку праворуч* [3].

Перед кільцевою розв'язкою встановлюються такі знаки: 4.10 (тобто рух по колу), знак 2.1 (тобто дати дорогу) і 7.8 – це напрямки головної дороги, де вказано, що головна дорога по колу.

ВИСНОВКИ

Проведено дослідження методів автоматизації оцінки безпеки дорожнього руху із використанням технології штучного інтелекту та аналізу файлу траєкторій руху транспортних засобів, які отримані в результаті проведення імітаційного комп'ютерного моделювання. За основу критеріїв порівняння прийняті замісні показники безпеки руху: час до зіткнення (ТТС) та час після вторгнення (РЕТ). Вибір даних критеріїв обумовлений тим, що вони дозволяють із достатньою точністю класифікувати певну подію взаємодії транспортних засобів як конфлікт, та одночасно представлені у якості вихідних параметрів аналізу безпеки руху у двох провідних програмних середовищах – DataFromSky та SSAM. Незважаючи на принципово різні підходи до аналізу безпеки руху, дані продукти використовують траєкторії руху та кути ураження для визначення замісних показників безпеки та, відповідно, ідентифікації конфліктів на перехрестях. На перший погляд, траєкторії руху транспортних засобів, вид яких отриманий із відеофрагменту руху краще характеризують ситуацію на дорозі, ніж траєкторії, які створюються стохастично у симуляторі руху. Однак ідея дослідження полягала у перевірці даного ствердження.

Для виконання роботи розроблено методику, яка об'єднала автоматизовану оцінку безпеки руху у єдине середовище. Алгоритм проведення дослідження виглядає таким чином:

- запис відеоролику дорожнього руху на перехресті, ділянці транспортної мережі;
- обробка відеоролику на хмарному сервісі платформи DataFromSky та налаштування конфігурації позначень отриманого у результаті даної обробки протоколу трасування;
- аналіз безпеки руху із визначенням списку конфліктів та замісних показників ТТС та РЕТ за допомогою DataFromSky Viewer;

– розробка імітаційної моделі ділянки в програмі VISSIM із встановленою годинною інтенсивністю руху транспорту у відповідних напрямках з даних DataFromSky Viewer;

– аналіз безпеки руху із визначенням списку конфліктів та замісних показників TTC та PET за допомогою обробки файлу траєкторії з VISSIM в програмі SSAM;

– порівняння отриманих кількісних показників конфліктів та замісних показників безпеки руху за двома методами.

Дану методику апробовано на прикладі кільцевої розв’язки 95-го кварталу (площа ім. Горького) у місті Кривий Ріг. В результаті встановлено:

1. Різниця у отриманих середніх значеннях замісних показників для двох програм становила відповідно для TTC 28,5%, для PET – 92,2%, що є значними показниками. Дисперсія для генеральної сукупності по TTC, визначена за технологією штучного інтелекту DataFromSky значно менша, ніж за SSAM-підходом – 0,069 проти 0,10, а за показником PET більша – 2,05 проти 0,11. За якісними критеріями у порівнянні з DataFromSky, SSAM показує більш оптимістичний прогноз безпеки руху відповідно до TTC із середнім значенням останнього у 0,10 с проти 0,14 с, за PET – 0,19 с проти 2,44 с.

2. Порівняння з моделлю прогнозу кількості дорожньо-транспортних пригод на основі інтенсивності руху транспортних засобів дозволило встановити, що DataFromSky дає прогноз близький до описання характеру взаємодії вхідних та кругових потоків на кільцевій розв’язці (4 конфлікту при PET=0), а SSAM – до випадку описання потоків наближення (18 конфліктів при PET=0).

3. Використання технології VISSIM/SSAM дозволяє скоротити витрати на автоматизацію оцінки безпеки руху на 52% у порівнянні з DataFromSky.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електронне джерело: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12>
2. ГБН В.2.3-37641918-555:2016. Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні проектування. – К.: 2016. – 54 с.
3. Електронне джерело: <https://vodiy.ua/pdr/10/>
4. ДСТУ 4159-2003 Безпека дорожнього руху. Організація дорожнього руху. Умовні позначення на схемах і планах.
5. СОУ 45.2-00018112-048:2010 Безпека дорожнього руху. Проект (схема) організації дорожнього руху. Правила розроблення, побудови, оформлення та вимоги до змісту.
6. ДСТУ Б А.1.1-100:2013 Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять.
7. ДСТУ 4100-2014 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування.
8. ДСТУ 2587:2010 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги. Методи контролювання. Правила застосування.
9. Електронне джерело: <https://datafromsky.com/trafficsurvey/>
10. Електронне джерело: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>
11. Електронне джерело: <https://www.eway.in.ua/ru/cities/kryvyirih>
12. Електронне джерело: <https://www.google.com.ua/maps/@47.9101954,33.3920254,18.42z?hl=ru>
13. Alrajie, H. (2015). Investigation of Using Microscopic Traffic Simulation Tools to Predict Traffic Conflicts Between Right-Turning Vehicles and Through Cyclists at Signalized Intersections Master of Applied Science.

14. A. Pirdavani, et al., Evaluation of traffic safety at un-signalized intersections using microsimulation: a utilization of proximal safety indicators, *Adv. Transp. Stud.* 22A. (2010) 43–50 , An international Journal.
15. Sobhani, et al., A simulation based approach to assess the safety performance of road locations, *Transp. Res. Part C Emerging Technol.* 32 (2013) 144–158.
16. Blvd, C. (2017). Open Source SSAM User Manual, (662), 1–34.
17. C. Caliendo, M. Guida, Microsimulation approach for predicting crashes at unsignalized intersections using traffic conflicts, *J. Transp. Eng.* 138 (12) (2012). 1453–1467.
18. F. Huguenin, et al., Evaluation of traffic safety using microsimulation, *Proceedings of the 5th Swiss Transport Research Conference–STRC*, Ascona, Swiss, 2005.
19. F. Cunto, F.F. Saccomanno, Simulated safety performance of rear-end and angled vehicle interactions at isolated intersections, *Can. J. Civ. Eng.* 36 (11), (2009). 1794–1803.
20. Fan, R. et al., (2013) Using VISSIM simulation model and Surrogate Safety Assessment Model for estimating field measured traffic conflicts at freeway merge areas. *IET Intelligent Transport Systems.* 7 (1). p. 68-77.
21. Giuffrè, O., Granà, A., Tumminello, M. L., Giuffrè, T., Trubia, S., Sferlazza, A., & Rencelj, M. (2018). Evaluation of Roundabout Safety Performance through Surrogate Safety Measures from Microsimulation, 2018.
22. Guido, G. et al., (2011) Safety performance measures: a comparison between microsimulation and observational data. *Procedia-Social and Behavioral Sciences.* 20. p. 217-225.
23. Huang, F. et al., (2013) Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention.* 50. p. 1014-1024.

24. H. Yang, et al., Application of simulation-based traffic conflict analysis for highway safety evaluation, Proceedings of the 12th WCTR, Lisbon, Portugal, 2010.
25. J.J. So, et al., Development and evaluation of an enhanced surrogate safety assessment framework, *Transp. Res Part C Emerg. Technol.* 50 (2015) 51–67
26. J.J. So, et al., Development and validation of a vehicle dynamics integrated traffic simulation environment assessing surrogate safety, *J. Comput. Civ. Eng.* 29 (5). (2014), 04014080.
27. K. Ozbay, et al., Derivation and validation of new simulation-based surrogate safety measure, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2083 (2008) 105–113.
28. Mahmud, S. M. S., Ferreira, L., Hoque, S., & Tavassoli, A. (2019). Micro-simulation modelling for traffic safety: A review and potential application to heterogeneous traffic environment. *IATSS Research*, 43(1), 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2018.07.002>
29. Microscopic_traffic_flow_simulator_VISSIM. (n.d.).
30. Surrogate Safety Assessment Model and Validation : Final Report. (2008).
31. Vasconcelos, L., Neto, L., Seco, Á. M., & Silva, A. B. (n.d.). Validation of the Surrogate Safety Assessment Model for Assessment of Intersection Safety. <https://doi.org/10.3141/2432-01>