

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-39>

УДК 621

БАБЕНКО Віталіна

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<http://orcid.org/0000-0002-4816-4579>

e-mail: vita.babenko@gmail.com

ЛАНТРАТ Олег

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<https://orcid.org/0009-0007-5910-5287>

e-mail: oleh.lantrat@gmail.com

САФРОНОВ Максим

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

e-mail: safronov.maksym@ukr.net

ПОБУДОВА МОДЕЛІ МАРШРУТИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ COMPUTER VISION

У статті розглянуто проблеми спричиненні ростом трафіку у містах, та нинішніх підходів для поліпшення ситуації з маршрутизації транспортного потоку. Наведено опис технології комп'ютерного зору як можливості поліпшення алгоритмів маршрутизації за рахунок обробки великих потоків даних які відображають реальну ситуації та причини які впливають на оптимізацію маршруту.

Ключові слова: Комп'ютерний зір, штучиний інтелект, Global Positioning System (GPS), Light Detection and Ranging (LiDAR)

BABENKO Vitalina, LANTRAT Oleh, SAFRONOV Maksym

Kharkiv National Automobile and Highway University

BUILDING A ROUTING MODEL USING COMPUTER VISION

Over the years, the number of people and cars on public roads increases, the average time a person spends in motor vehicles, being in traffic jams, also increases due to the obsolescence of urban planning approaches in cities and the imperfection of systems for processing the flow of cars and traffic. There is an actual problem of urban traffic jams caused by a large number of cars. A solution needs to be proposed that involves the use of a computer vision system to collect and process data from vehicles, ultimately optimizing route recommendations to reduce congestion. The main components of the proposed system include data collection using various sensors and cameras, real-time computer vision analysis to monitor road conditions and detect traffic accidents, as well as the use of predictive algorithms to suggest alternative and more efficient routes to drivers.

The aim of the paper is to solve the problem of congestion in cities caused by excessive number of vehicles by proposing a system that uses computer vision technology to collect and process data from vehicles. The main goal of such a system is to provide more accurate and timely information to drivers, allowing them to make informed decisions about their routes and ultimately reduce road congestion, improve transport efficiency and minimize the environmental impact of urban travel.

The article discusses the problems associated with the growth of traffic in cities and current approaches to improving the situation on the routing of traffic flow. A description of computer vision technology is given as an opportunity to enhance routing algorithms by processing large data flows reflecting the real situation and the reasons affecting the optimization of the route.

Keywords: Computer Vision, Artificial Intelligence (AI), Global Positioning System (GPS), Light Detection and Ranging (LiDAR).

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

З роками кількість людей і автомобілів на дорогах загального користування зростає, в середньому час проведений людиною в автотранспортних засобах, перебуваючи в заторах, теж збільшується через застарілість підходів урбаністики в містах і недосконалість систем опрацювання потоку автомобілів і трафіку.

Існує актуальна проблема міських заторів, викликаних великою кількістю автомобілів [1, 2]. Необхідно запропонувати рішення, яке передбачає використання системи комп'ютерного бачення для збору й обробки даних від транспортних засобів, зрештою оптимізуючи рекомендації щодо маршруту для зменшення заторів [3-5].

Основні компоненти запропонованої системи включають збір даних за допомогою різних датчиків і камер, аналіз комп'ютерного зору в режимі реального часу для моніторингу дорожніх умов і виявлення дорожньо-транспортних пригод, а також використання прогнозних алгоритмів, щоб пропонувати водіям альтернативні та ефективніші маршрути [6, 7].

Аналіз досліджень та публікацій

Цей підхід має потенціал для значного зменшення заторів, зниження викидів і підвищення загальної ефективності транспорту в міських районах [8-10]. Однак успішне впровадження такої системи вимагатиме подолання різноманітних технічних, матеріально-технічних проблем і проблем конфіденційності [11]. Крім

того, модель маршрутизації за допомогою computer vision може отримати користь від подальшого обговорення щодо безпеки даних, масштабованості та потенційного впливу на поведінку водія [12-15].

Загалом, питання, пов'язане з побудовою моделі маршрутизації стосується важливої проблеми та пропонує багатообіцяюче рішення шляхом використання комп'ютерного зору та обробки даних, але вона має більш детально розглянути практичне впровадження та потенційні наслідки такої системи.

Формулювання цілей статті

Мета статті полягає в тому, щоб вирішити проблему заторів у містах, спричинених надмірною кількістю транспортних засобів, запропонувавши систему, яка використовує технологію комп'ютерного зору для збору та обробки даних від транспортних засобів. Основна мета такої системи - надавати більш точну та своєчасну інформацію водіям, дозволяючи їм приймати обґрунтовані рішення щодо своїх маршрутів і, зрештою, зменшити затори на дорогах, підвищити ефективність транспорту та мінімізувати вплив міських поїздок на навколишнє середовище.

Виклад основного матеріалу

Зростання кількості населення, автомобілів і міст має глибокий вплив на наше життя, і перевантаження транспортної системи є основним наслідком цієї урбанізації та зростання. Ось деякі способи, якими ці фактори впливають на нас [13]:

Перевантаження транспортної системи є значною проблемою у багатьох містах по всьому світу, і воно становить численні виклики та негативні наслідки для окремих осіб, громад та економік. Ось більш глибокий погляд на проблему перевантаження дорожнього руху:

- **Втрачений час:** Одним з найбільш очевидних і негайних наслідків перевантаження дорожнього руху є час, втрачений учасниками руху. Довгі часи подорожі означають менший час для продуктивної діяльності, дозвілля та спілкування з сім'єю та друзями. Це може призвести до збільшення стресу і зниження якості життя.

- **Економічні витрати:** перевантаження трафіку призводить до значних економічних витрат. Ці витрати включають витрати палива через бездіяльність в дорозі, збільшення транспортних витрат для підприємств, а також зниження загальної продуктивності. Компанії можуть зазнавати затримок у ланцюгах поставок, а економіка може постраждати в результаті.

- **Забруднення повітря:** переповнений рух є головним фактором забруднень повітря, оскільки транспортні засоби випускають більше викидів, коли вони застрягають в дорозі або рухаються на повільних швидкостях. Забруднювачі, що викидаються з автомобілів, такі як окис вуглецю, оксиди азоту та частинки, можуть мати негативний вплив на якість повітря та здоров'я людей.

- **Вплив на здоров'я:** Тривале вплив на перевантаження і забруднення повітря може призвести до різних проблем зі здоров'ям, включаючи проблеми з диханням, серцево-судинні захворювання і підвищений ризик розвитку раку. Особливо вразливі діти, люди похилого віку та особи з попередніми станами здоров'я.

- **Занепокоєння з приводу безпеки:** перевантаження дорожнього руху може збільшити ймовірність нещасних випадків. Коли транспортні засоби тісно розташовані один до одного, що часто виникає при знаходженні в заторах, є менше місця для маневрування, і водії можуть стати більш агресивними. Це може призвести до більш високої частоти ДТП і більш серйозних аварій.

- **Зниження продуктивності:** Компанії часто страждають від запізнення співробітників на роботу або важливих зустрічей через перевантаження транспортної системи. Продуктивність може знижуватися, оскільки співробітники проводять більше часу у дорозі і менше часу на роботі.

- **Інфраструктурні витрати:** Щоб впоратися з перевантаженням транспортних систем, містам часто доводиться інвестувати в дороги, розширюючи дороги, будуючи нові автомагістралі або вдосконалюючи системи громадського транспорту. Ці проекти можуть бути фінансово важкими і можуть зайняти роки.

- **Якість життя:** перевантаження може мати глибокий вплив на загальну якість життя в місті. Це може призвести до фрустрації, ворожнечі на дорогах і зниження почуття благополуччя для жителів.

Розв'язання проблем переповнення трафіку зазвичай передбачає комбінацію стратегій, включаючи інвестування у громадський транспорт, впровадження ціноутворення на перепони, сприяння спільному користуванню автомобілями, заохочення до їзди на велосипеді та ходьби, а також впровадження інтелектуальних транспортних систем [14-17]. Міське планування, яке орієнтується на змішане землекористування та створення більш пішохідних районів, також може допомогти зменшити потребу у довгих проїздах автомобілів. В кінцевому підсумку, управління перевантаженням є складною проблемою, яка вимагає всебічного, багатогранного підходу до вдосконалення транспортних систем та урбанізації.

Маршрутизація

Зазвичай для поліпшення ситуації маршрутизації ми використовуємо навігатори. Навігатори, також відомі як системи навігації GPS або пристрої GPS, можуть бути надзвичайно корисними у навігаціях через трафік у містах [18-21]. Ось як навігатори допомагають з трафіком:

▪ Оновлення трафіку в режимі реального часу: Багато сучасних навігаторів GPS оснащені даними про трафік в режимі реального часу. Вони отримують інформацію про поточні умови дорожнього руху, аварії, закриття доріг і перепони з різних джерел, включаючи датчики руху, сигнали GPS від інших водіїв та центри управління трафіком. Ці дані потім використовуються для розрахунку оптимального маршруту для водія, уникаючи районів з великим трафіком.

▪ Альтернативні пропозиції маршруту: Навігатори надають альтернативні маршрути, щоб допомогти водіям уникнути пробки. Коли на запланованому маршруті виявляється перевантаження, навігатор може автоматично перенаправляти водія на більш швидкий або менш перевантажений шлях. Ця функція особливо цінна в містах, де можливі швидкі зміни умов дорожнього руху.

▪ Приблизний час прибуття: GPS-навігатори пропонують примірний час прибуття на основі поточних умов дорожнього руху. Ці оцінки постійно оновлюються по мірі прогресу водія по маршруту. Знання, коли ви прибудете до місця призначення, допомагає в управлінні часом і плануванні.

▪ Повідомлення про інцидент: Навігатори часто надають попередження про аварії, закриття доріг, будівельні зони та інші інциденти, які можуть вплинути на обраний маршрут. Ці сповіщення дозволяють водіям приймати обґрунтовані рішення про те, чи продовжити свій поточний маршрут або обрати альтернативний маршрут.

▪ Голосова-навігаційна навігація: Навігатори пропонують поворотну, голосову навігацію, що означає, що водії отримують голосові інструкції про те, коли потрібно повертати і які траси використовувати. Ця функція зменшує потребу в погляді на екран пристрою, підвищуючи безпеку під час навігації через міський рух.

▪ Довідка по трасі: Багато навігаторів GPS надають довідку по трасах, допомагаючи водіям залишатися на правильній трасі під час навігації на складних перехрестях і з'їздах з автомагістралей. Це особливо важливо в переповнених міських районах з складною дорожньою мережею.

▪ Точки інтересу : Навігатори часто включають в себе базу даних про визначні пам'ятки, такі як заправні станції, ресторани, парковки та туристичні визначні місця. Ця функція дозволяє водіям легко знайти послуги та зручності, скорочуючи час, витрачений на пошук під час водіння.

▪ Офлайн-карти: Деякі навігатори GPS дозволяють користувачам завантажувати карти для офлайн-користування. Це може бути корисно в районах з поганим або відсутнім клітинним покриттям, гарантуючи, що функції навігації продовжують працювати без підключення до Інтернету.

▪ Налаштування: Користувачі часто можуть налаштувати налаштування GPS-навігатора, наприклад, уникати проїзних доріг, автомагістралей або конкретних районів, схильних до переповнення руху. Ця персоналізація дозволяє водіям адаптувати свій досвід навігації до своїх уподобань та потреб.

▪ Аналіз моделей дорожнього руху: Деякі передові GPS-пристрої можуть аналізувати схеми руху і надавати пропозиції щодо найкращих часів подорожі, допомагаючи водіям уникнути пікових годин переповнення, коли це можливо.

Навігатори GPS допомагають руху в містах, надаючи оновлення руху в режимі реального часу, пропонуючи альтернативні маршрути, оцінюючи час прибуття і пропонуючи цінну інформацію про дорожні умови. Ці функції підвищують ефективність навігації, допомагають водіям уникнути перевантажень, скорочують час подорожі та сприяють більш безпечному та зручному водійському досвіду в міських районах.

З перерахованих вище пунктів найбільш цікавими для нас є оновлення трафіку в режимі реального часу і побудова альтернативних маршрутів. Зазвичай це реалізовано за рахунок того, що девайси в автомобілях передають геопозицію в даний момент і за рахунок цієї інформації створюється завантаженість певного відрізка маршруту. Це дозволяє побудувати маршрут з урахуванням того, скільки автомобілів проїжджає на певному відрізку дороги за певний період часу. Описана технологія виконує свої функції, але є одна проблема в перехованих пунктах, які вказують на те, що ми можемо побачити зміни альтернативних маршрутів за рахунок того, що якісь події на дорозі, аварії чи ремонтні роботи відображаються в системі. Зазвичай ця інформація вноситься руками, і це може відбуватись чи то водіями, чи то спеціальними службами які виконують вказані роботи. Зазвичай це призводить до того, що ми маємо затримку отримання оптимального маршруту, поки хтось не внесе додаткову інформацію на цьому маршруті. Ідея та розв'язання цієї проблеми є реалізація системи, яка дозволить за рахунок Computer Vision передавати інформацію про ремонтні роботи або якісь непередбачені події для побудови більш точного і швидшого маршруту.

Комп'ютерне бачення

Комп'ютерне бачення - це галузь штучного інтелекту (AI) і інформатики, яка зосереджена на тому, щоб дозволити комп'ютерам інтерпретувати і розуміти візуальну інформацію з світу, так само, як люди роблять своїми очима [19]. Вона передбачає розробку алгоритмів, моделей і методів, які дозволяють комп'ютерам обробляти, аналізувати і витягувати значущі уявлення з зображень і відео [21]. Комп'ютерне

бачення має широкий спектр застосувань, в тому числі в автомобільній промисловості, де воно інтегровано в автомобільні системи для підвищення безпеки, навігації та функцій допомоги водієві.

Ось як комп'ютерне бачення інтегрується в автомобільні системи:

- Computer Vision є фундаментальним компонентом ADAS, який включає в себе такі функції, як попередження про виїзд з смуги, адаптивний круїзний контроль і моніторинг в сліпій точці. Камери, розташовані навколо транспортного засобу, знімають у режимі реального часу відео знімки навколишнього середовища. Алгоритми комп'ютерного зору аналізують ці дані для виявлення позначень смуг, інших транспортних засобів, пішоходів і потенційних небезпек. Ця інформація потім використовується для надання попереджень водієві або навіть допомагає контролювати рухи транспортного засобу.

- Системи Computer Vision можуть визначати потенційні ризики зіткнень і запускати попередження або самостійні дії для запобігання аваріям. Наприклад, якщо система виявить неминуче зіткнення з транспортним засобом або пішоходами, вона може автоматично застосувати гальма або направити транспортний засіб на безпеку.

- Багато сучасних автомобілів оснащені системами допомоги при паркуванні, які використовують комп'ютерне бачення, щоб допомогти водіям безпечно пакуватися. Камери забезпечують перегляд області навколо транспортного засобу, а система накладає на екран графіку або вказівки, щоб допомогти водієві позиціонувати транспортний засіб в межах парковки.

- Computer Vision може бути використано для розпізнавання та інтерпретації дорожніх знаків і сигналів. Камери в автомобілі контролюють дорогу за такими знаками, як обмеження швидкості, знаки зупинки і світлофори. Система може надати водієві візуальні або слухові підказки, нагадуючи їм про поточні правила дорожнього руху.

- Алгоритми Computer Vision можуть ідентифікувати пішоходів біля транспортного засобу, навіть в умовах слабкого освітлення або при порушенні видимості. Це дуже важливо для безпеки пішоходів і може бути інтегровано в автономні системи аварійного гальмування.

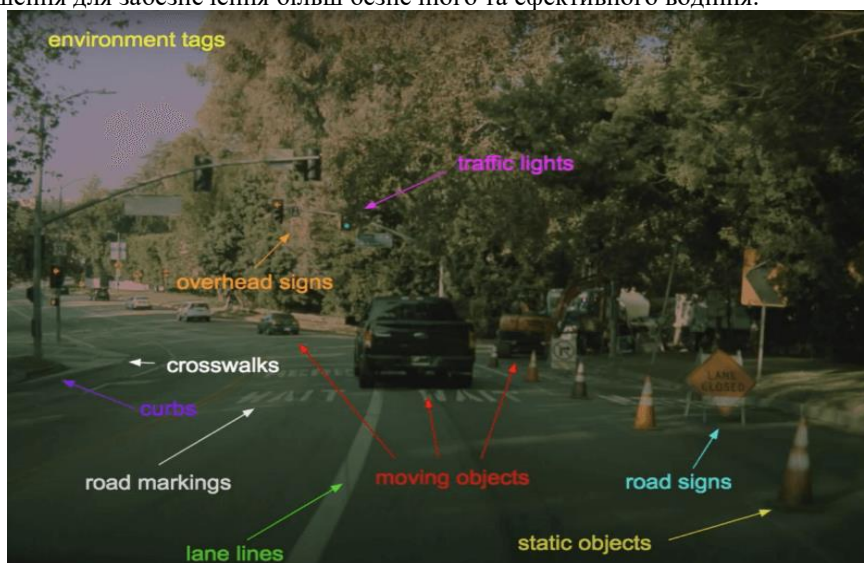
- Автомобільні системи можуть використовувати комп'ютерне бачення для виявлення та класифікації різних об'єктів на дорозі, таких як транспортні засоби, велосипедисти та сміття. Ця інформація може допомогти у прийнятті водійських рішень та уникненні зіткнень.

- Computer Vision може спостерігати за позначенням смуги та надавати зворотній зв'язок водієві, якщо він ненавмисно виїтає з смуги. Деякі системи можуть навіть застосувати рульовий вхід, щоб автоматично тримати автомобіль у його смугі руху.

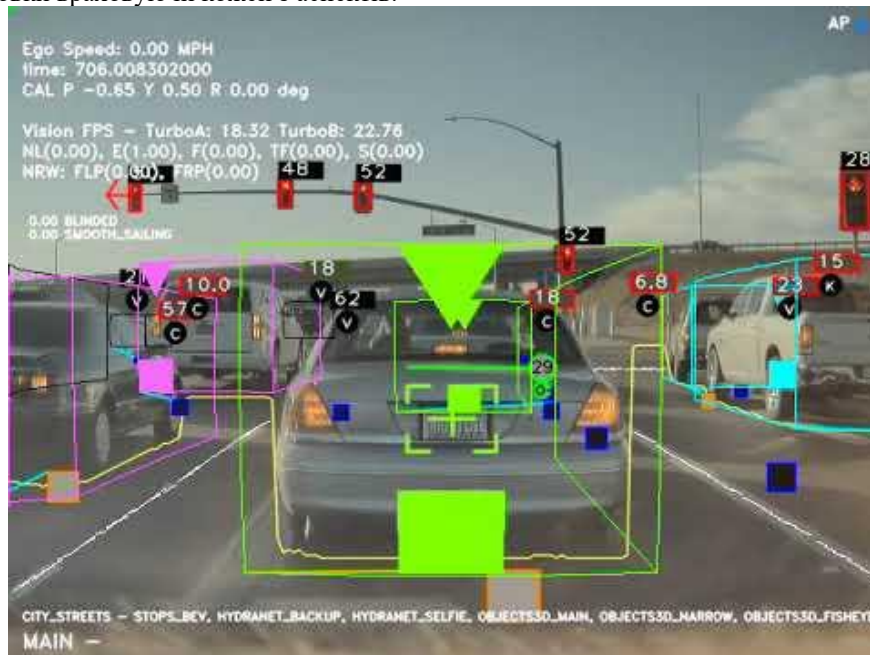
- Адаптивні фари можуть регулювати свій зразок променя на основі швидкості транспортного засобу, кута керування і викривлення дороги, все це можна визначити за допомогою аналізу комп'ютерного зору.

- Computer Vision може бути використано для моніторингу поведінки водія, включаючи виявлення ознак сонливості або відволікання уваги. Якщо система виявляє таку поведінку, вона може надавати сповіщення, щоб тримати водія зосередженим на дорозі.

Computer Vision є критичною технологією, інтегрованою в автомобільні системи для підвищення безпеки, поліпшення можливостей допомоги водієві та надання можливості для більш просунутих можливостей автономного водіння. Аналізуючи візуальні дані з камер, розташованих навколо автомобіля, комп'ютерні системи зору допомагають автомобілям сприймати навколишнє середовище і приймати обґрунтовані рішення для забезпечення більш безпечного та ефективного водіння.



Інтерпретація дорожнього полотна очима людини, ми бачимо якісь об'єкти та наш мозок робить відповідні висновки враховуючи кожен з аспектів.



Приклад того як система Computer Vision може розпізнавати об'єкти. Ми дійсно можемо знайти схожість з тим як наше мозок опрацьовує інформацію про об'єкти передані нашими очима і те як це робить Computer Vision. Що цікавого може бути використано для покращення маршрутизації за рахунок нашої системи? На цих двох картинках ми можемо бачити світлофори та тимчасові знаки які обмежують рух на заданій полосі, за рахунок отриманих даних про час ввімкнення кольорів на світлофорах ми можемо корегувати маршрути за допомогою пошуку найбільш вигідних варіантів, чим більше авто в різних куточках міста зможуть передавати таку інформацію тим більше точним прогноз буде створюватись на маршрутах, на рахунок знаків на дорозі то їх розпізнавання може бути використане для уникання деяких ділянок маршруту у разі якщо ця полоса буде найбільш завантажена.

Розподілена система обробки даних

Щоб об'єднати дані з різних транспортних засобів та проаналізувати для подальшого перетворення це у тип інформації який саме і дозволить поліпшувати якість прийняття рішень маршрутизації треба створити систему яка надасть можливість надсилати, опрацьовувати і агрегувати результат [17, 19].

Створення системи для збору даних з участю мільйонів або навіть більше автомобілів, обробки їх за допомогою Computer Vision для виявлення аварій на дорогах або ідентифікації кольорів світлофорів і використання цих даних для передбачення маршруту в такому великому масштабі - це складна задача, яка вимагає ретельного планування, масштабованості та високорівневих технологій. Ось загальна архітектура для такої системи:

1. Збір даних:

- Датчики на борту: Оснащення автомобілі засобами датчиків, включаючи камери, LiDAR, радар та акселерометри для збору даних, що стосуються навколишнього середовища автомобіля.
- Приймання даних: Розроблення надійної системи прийому даних, яка може збирати дані з мільйонів автомобілів одночасно. Використовуйте хмарні рішення для масштабованого зберігання даних.

2. Комп'ютерний Зір:

- Локальна обробка: Впровадження обчислень на автомобілях для локальної обробки та аналізу даних. Це зменшує потребу в постійній передачі даних.
- Моделі глибокого навчання: Розроблення та впровадження моделей глибокого навчання для комп'ютерного зору на автомобілях, здатних виявляти різні ситуації, включаючи дорожні аварії.
- Обробка в реальному часі: Забезпечення можливості обробки даних в реальному часі для виявлення аварій у момент їх виникнення.

3. Агрегація даних:

- Передача даних від автомобіля до хмарних середовищ: Дані, які потребують додаткового аналізу або які були пропущені локальною обробкою, можуть бути передані до хмари для агрегації і подальшої обробки.

- Обробка потоку даних: Використання систем обробки поточкових даних, таких як Apache Kafka або Apache Flink для обробки даних в реальному часі.
- 4. Розгортання за допомогою хмарних рішень:
 - Масштабована хмарна інфраструктура: Розгортання масштабованої хмарної інфраструктури для обробки великого обсягу вхідних даних за допомогою технологій, таких як AWS, Azure або Google Cloud.
 - Зберігання даних: Зберігання та керування вхідними даними ефективно за допомогою розподілених баз даних або озер даних (Data Lakes).
 - Обробка даних: Розроблення надійної та розподіленої системи обробки даних за допомогою технологій, таких як Apache Spark, для подальшого аналізу та передбачення.
- 5. Інтеграція:
 - API: Надання API для інтеграції сторонніх служб, таких як додатки для навігації або служби аварійного обслуговування.
- 6. Безпека та Приватність:
 - Захист даних: Впровадження надійного шифрування та заходів безпеки для даних під час перед
- 7. Моніторинг і технічне обслуговування:
 - Безперервний моніторинг: запровадження надійного моніторингу для виявлення системних проблем і вузьких місць продуктивності.
 - Масштабованість: проектування системи для горизонтального масштабування, для динамічного масштабування з урахування об'ємів трафіку переданих до системи.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розглянуто актуальність ідеї розробки та який вплив вона може мати на користувачів. Представлено модель для поліпшення якості аналізу та покращення маршрутизації, описані які проблеми потрібно буде вирішити при імplementації цієї розробки та можливі варіанти інтеграції з існуючими системами. Наступними кроками можуть стати пошуки можливостей взаємодії між транспортними даними та розгляд можливостей опрацювання таких даних у великому обсязі.

References

1. Computer vision news. 2021. URL: <https://www.rspivision.com/ComputerVisionNews-2021November/>
2. Modelling the relationship between travel behaviours and social disadvantage. 2016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965856416000082>
3. On-Line Network Traffic Anomaly Detection Based on Tensor Sketch. 2023 URL: <https://www.computer.org/csdl/journal/td/2023/12/10255295/1Qzzyg8qcCI>
4. Fuzzy Hierarchy Analysis Based Microservice Splitting Result Evaluation. 2023. URL: <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/ipccc/2023/10253880/1RlnPOEVxbq>
5. Planning transport for social inclusion: An accessibility-activity participation approach. 2023 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920919308788>
6. Real-Time Traffic Control and Safety Measures Analysis Using LiDAR Sensor during Traffic Signal Failures. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/374926696_Real-Time_Traffic_Control_and_Safety_Measures_Analysis_Using_LiDAR_Sensor_during_Traffic_Signal_Failures
7. Babenko, V., Chebanova, N., Ryzhikova, N., Rudenko, S., Birchenko, N. (2018). Research into the process of multi-level management of enterprise production activities with taking risks into consideration. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 1, No 3 (91), pp. 4-12. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123461>
8. Traffic Management system and Traffic Light Control in Smart City to Reduce Traffic Congestion. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/372768522_Traffic_Management_system_and_Traffic_Light_Control_in_Smart_City_to_Reduce_Traffic_Congestion
9. Gontareva, I., Babenko, V., Shmatko, N., Litvinov, O., Obruch, H. (2020). The Model of Network Consulting Communication at the Early Stages of Entrepreneurship. WSEAS Transactions on Environment and Development, Vol. 16, 2020, Art. #39, pp. 390-396. doi: <https://doi.org/10.37394/232015.2020.16.39>
10. Prediction of departure delays at original stations using deep learning approaches: A combination of route conflicts and rolling stock connections. 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417423010023>
11. CITIES AND THEIR METHODS OF REDUCING DOWNTOWN TRAFFIC. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/374690476_CITIES_AND_THEIR_METHODS_OF_REDUCING_DOWNTOWN_TRAFFIC
12. A comprehensive study on lane detecting autonomous car using computer vision. 2023 - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417423014318>
13. Predicting perceived risk of traffic scenes using computer vision. 2023 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847823000177>
14. Karasu: A Collaborative Approach to Efficient Cluster Configuration for Big Data Analytics. 2023. URL: <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/ipccc/2023/10253884/1RlnOoMnbnr2>
15. Savytska, N., Babenko, V., Chmil, H., Priadko, O., & Bubenets, I. (2023). Digitalization of Business Development Marketing Tools in the B2C Market. *Journal of Information Technology Management*, 15(1), 124-134. <https://doi.org/10.22059/jitm.2023.90740>
16. Computer Vision: Algorithms and Applications, 2nd ed.. 2023. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-34372-9>
17. Creating Augmented and Virtual Realities: Theory and Practice for Next-Generation Spatial Computing 1st Edition. 2023. URL: <https://www.amazon.com/Creating-Augmented-Virtual-Realities-Next-Generation/dp/1492044199>

18. Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems. 2023. URL: <https://www.amazon.com/Designing-Data-Intensive-Applications-Reliable-Maintainable/dp/1449373321>
19. Babenko V.A. (2013). Formation of economic-mathematical model for process dynamics of innovative technologies management at agroindustrial enterprises. Actual Problems of Economics. Vol. 139, Issue 1, pp. 182-186. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84929991982&origin=inward&txGid=c69f0746cede0da5f287471cd68808af>
20. Hrabovskiy, Y., Babenko, V., Al'boschiy, O., Gerasimenko, V. (2020). Development of a Technology for Automation of Work with Sources of Information on the Internet. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 17, 25, pp. 231-240. <https://doi.org/10.37394/23207.2020.17.25>
21. Kuznetsov, A., Kavun, S., Smirnov, O., Babenko, V., Nakisko, O., Kuznetsova, K. (2019). Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids. 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2019 – Proceedings, No. 8764228, pp. 347-352. doi: 10.1109/ESS.2019.8764228 Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8879793/>