

РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ МІСТА

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Проаналізовано сучасні тенденції та перспективи впровадження інформаційних технологій у сферу управління міськими транспортними системами. Досліджено архітектуру інтелектуальних транспортних систем, роль великих даних, штучного інтелекту та інтернету речей у процесі оптимізації трафіку. Особливу увагу приділено методам адаптивного регулювання та прогнозування транспортного попиту задля підвищення міської мобільності.

Ключові слова: інтелектуальні транспортні системи, регулювання трафіку, штучний інтелект, інтернет речей, великі дані, міська мобільність, комп'ютерні науки, інформаційні технології.

Abstract. Current trends and prospects for the implementation of information technologies in the field of urban transport systems management are analyzed. The architecture of intelligent transport systems, the role of Big Data, Artificial Intelligence, and the Internet of Things in the process of traffic optimization are investigated. Particular attention is paid to the methods of adaptive regulation and forecasting of transport demand to increase urban mobility.

Keywords: intelligent transport systems, traffic regulation, artificial intelligence, internet of things, big data, urban mobility.

Сучасна урбанізація створює велике навантаження на транспортну інфраструктуру, оскільки темпи зростання кількості транспортних засобів значно перевищують швидкість модернізації доріг. Це призводить до виникнення заторів, які класифікуються на рекурсивні, зумовлені обмеженою пропускнуою здатністю, та нерекурсивні, що виникають внаслідок аварій, погодних умов або спеціальних заходів.

Розвиток інформаційних технологій у контексті регулювання транспортних потоків базується на інтеграції багаторівневих систем збору та обробки інформації. Для ефективної роботи транспортної мережі доцільно запроваджувати інформаційні технології для збору, обробки та передачі даних у реальному часі.

Історичний огляд розвитку автоматизованих про поступовий перехід від простих механізмів світлофорного регулювання до складних ієрархічних систем, інтегрованих у глобальну цифрову інфраструктуру міста.

Результати наукових досліджень свідчать про те, що подальша еволюція засобів регулювання транспортних потоків пов'язана з розширенням можливостей адаптивного керування. Використання динамічних моделей дозволяє системі самостійно підлаштовуватися під змінні умови дорожньої обстановки, враховуючи часові інтервали, погодні умови та масові заходи. Впровадження таких інноваційних рішень вимагає високого рівня міжсистемної інтеграції та розробки єдиних протоколів обміну даними. Це створює передумови для формування повністю автоматизованих транспортних систем, де роль людського фактору в управлінні мінімізується, а ефективність використання дорожнього простору досягає максимально можливих значень. Сукупність зазначених технологічних рішень дозволяє розглядати інтелектуальні транспортні системи як фундамент для реалізації концепції стійкого розвитку сучасних мегаполісів. Серед технологій можна виділити використання технологій комп'ютерного зору, яке дозволяє ідентифікувати типи транспортних засобів та визначати щільність потоку в режимі реального часу, що є критично важливим для мінімізації часу затримок на перехрестях; предиктивні моделі, побудовані на основі алгоритмів глибокого навчання, які дозволяють враховувати не лише поточну ситуацію, а й ретроспективні дані, погодні умови, потоки переміщення людей та масові міські заходи, що забезпечує високу точність прогнозування заторів [1].

Практична реалізація систем комп'ютерного зору дозволяє трансформувати стандартні камери відеоспостереження в інтелектуальні сенсори. Алгоритми обробки зображень здатні виділяти метадані про стан потоку, які передаються до центрального контролера для корегування тривалості світлофорних фаз. Це забезпечує перехід від жорсткого програмування до адаптивного управління, де зелений сигнал подається пріоритетно на ті напрямки, де зафіксовано найбільше накопичення транспорту. Крім того, технології відеоаналітики відіграють ключову роль у виявленні інцидентів та аварійних ситуацій, що дозволяє оперативно реагувати на нерекурсивні затори та перенаправляти потоки для запобігання колапсу транспортної мережі [2].

Найбільш ефективними архітектурами для прогнозування часових рядів у транспортній сфері є рекурентні нейронні мережі, зокрема архітектура довгої короткострокової пам'яті. Завдяки здатності зберігати інформацію про попередні стани, такі моделі успішно враховують добову та тижневу циклічність руху, а також вплив історичних подій на майбутній стан системи. Наприклад, модель може виявити, що затор на певній магістралі у понеділок вранці зазвичай передують сповільненню руху на прилеглих вулицях через 15 хвилин, що дозволяє системі керування заздалегідь змінити режим роботи світлофорів [3].

Іншим прикладом є використання графових згорткових мереж, які моделюють транспортну мережу міста як граф, де перехрестя є вузлами, а дороги – ребрами. Це дозволяє враховувати просторові кореляції: затор на одній ділянці неминуче впливає на сусідні сегменти мережі. Предиктивні моделі цього типу здатні прогнозувати поширення «хвиль заторів» по всьому місту, що дає змогу операторам інтелектуальних систем впроваджувати стратегії динамічної маршрутизації. Це створює умови для переходу від реактивного управління, яке лише констатує факт затору, до превентивного регулювання, спрямованого на запобігання перевантаженню інфраструктури. Інтеграція предиктивних моделей у хмарні платформи міського управління дозволяє не лише оптимізувати трафік, а й суттєво зменшити час очікування для громадського транспорту та екстрених служб, підвищуючи загальну резильєнтність міської транспортної системи.

Окремим вектором розвитку є технології зв'язку V2X, які забезпечують обмін даними між автомобілями та дорожньою інфраструктурою. Це створює умови для автоматизованого регулювання швидкості та пріоритизації проїзду спецтранспорту та міського транспорту, створення єдиної системи, що інтегрує всі елементи міської мережі в єдиний керований організм.

Технологічна структура V2X охоплює кілька процесів, серед яких – зв'язок між автомобілями (транспортними об'єктами) (V2V), взаємодію з інфраструктурою (V2I), обмін даними з пішоходами (V2P) та підключення до глобальної мережі (V2N). Використання виділеного зв'язку малого радіусу дії на базі стандартів DSRC або C-V2X дозволяє передавати важливу інформацію з мінімальною затримкою. Наприклад, при екстремому гальмуванні авто, що їде попереду, сигнал передається на бортові комп'ютери транспортних засобів, що рухаються позаду, ще до того, як водії зможуть візуально оцінити небезпеку.

В аспекті регулювання транспортних потоків технологія V2I відіграє вирішальну роль у реалізації концепції динамічної «зеленої хвилі». Дорожні контролери передають інформацію про поточний стан світлофорних фаз безпосередньо в систему навігації автомобіля, рекомендуючи оптимальну швидкість для проїзду перехрестя без зупинок. Це дозволяє уникнути зайвих циклів гальмування та розгону, що, згідно з дослідженнями, зменшує витрати палива та викиди шкідливих речовин на 10-15 відсотків. Крім того, V2X забезпечує автоматичну пріоритизацію громадського та екстреного транспорту, адаптуючи роботу світлофорів під їхній рух у реальному часі.

Перспективи розвитку V2X тісно пов'язані з впровадженням мереж 5G, які забезпечують необхідну ширину каналу та стабільність з'єднання для одночасної обробки даних від тисяч пристроїв. Це створює підґрунтя для функціонування повністю автономних транспортних систем та «розумних» дорожніх знаків, які змінюють свою конфігурацію залежно від щільності трафіку або погодних умов. Інтеграція V2X у загальноміську систему управління мобільністю є важливою для формування резильєнтного транспортного середовища, здатного до самоорганізації та ефективного функціонування в умовах пікових навантажень.

Методи адаптивного керування на основі реальних даних про швидкість потоку, забезпечують динамічний пошук оптимальних шляхів порівняно зі статичними алгоритмами. Впровадження мультиагентних систем сприяє балансуванню навантаження на мережу та скороченню загального часу подорожі. Використання бездротових сенсорних мереж є технологічним фундаментом для збору прецизійних даних у реальному часі. Інтеграція технологій радіочастотної ідентифікації та протоколів бездротового зв'язку забезпечує надійну взаємодію між транспортними засобами та придорожною інфраструктурою. Зокрема, розробка систем динамічного контролю дозволяє реалізувати механізми пріоритизації екстрених служб на перехрестях, що досягається шляхом автоматичного корегування сигналів світлофорів на основі ідентифікації спеціальних міток. Подальший розвиток пов'язаний із подоланням інфраструктурних обмежень та переходом від індивідуальної оптимізації маршрутів до системного управління мобільністю з урахуванням інтересів усього міського середовища, подолання викликів війни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ключев С. О. Цимбал С. В. Сігонін А. Є. Розвиток інтелектуальних транспортних систем. Вісник машинобудування та транспорту №2(18), 2023, С. 80 - 86. DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.1.1.31>
2. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. P. 779-788. 10.1109/CVPR.2016.91. DOI <https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.02640>
3. Lu N., Cheng N., Zhang N., Shen X., Mark J. Connected Vehicles: Solutions and Challenges. *Internet of Things Journal*, IEEE. 1. 289-299. 10.1109/IJOT.2014.2327587. DOI <https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.02640>

Левченко Нікіта Борисович група 122а, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації

Белзетський Руслан Станіславович, к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, belzetskiy@vntu.edu.ua

Nikita Levchenko, group 122a, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation

Ruslan Belzetskiy, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, belzetskiy@vntu.edu.ua