

Мазуренко Роман Володимирович

Аспірант кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики,

<https://orcid.org/0000-0003-3954-9423>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Єременко Богдан Михайлович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій управління,

<https://orcid.org/0000-0002-3734-0813>

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТРАФІКОМ ВЕЛИКОГО МІСТА: КОНЦЕПТ ОНТОЛОГІЇ «МОДЕЛІ РІШЕНЬ»

***Анотація.** Проблема транспортних заторів досі лишається актуальною для транспортної системи багатьох великих міст на різних континентах. Роботу спрямовано на формування онтолого-керованої технології, що базується на використанні наявних засобів отримання даних, інформаційних ресурсах, моделях прогнозування трафіку великих міст і управлінні дорожнім рухом на базі цих прогнозів. Саме тому в цій роботі велика увага приділяється дослідженню інноваційних рішень проблеми оптимізації руху транспорту мережею доріг міста з використанням великих даних, моделей штучного інтелекту і технологій інтернету речей. При цьому визначено основні аспекти, які вимагають втручання людини в розробку еталонної онтології домену «Дорожній рух». Наукова новизна роботи полягає в створенні концепту онтології «Моделі рішень», яка згодом стане основою інформаційної інтелектуальної технології ефективного управління дорожнім рухом у великих містах. Ця розробка має вирішальне значення для вирішення проблем транспортних заторів шляхом розумного розподілу транспортних потоків мережею доріг міста, оскільки вона уніфікує представлення знань. Це дає змогу уникнути нечіткої невизначеності в розумінні даних та суттєво спростити інтеграцію різних джерел і методів збору даних із системою керування дорожнім рухом. Основну увагу сфокусовано на схему формування гібридної моделі рішень, що на рівні керування світлофорами визначають керуючі дії системи. Також визначено задачі, які будуть розв'язувати моделі штучного інтелекту, і показано можливість використання алгоритму мурашиних колоній в задачі пошуку найкоротшого шляху.*

***Ключові слова:** гібридна модель; інформаційний ресурс; мурашиний алгоритм; розумне місто; технократичне управління; транспортний агент*

Вступ

Важливу роль у розробленні і вдосконаленні розумних систем керування трафіком великого міста відіграють різні інноваційні технології [1], а інтеграція засобів аналізу великих даних з інтелектуальними транспортними агентами і системами визначена ключовим драйвером розвитку розумних міст [2].

Така інтеграція уможливує оптимізувати рух транспорту мережею доріг міста, зосереджуючись на технократичному управлінні з використанням моделей і методів штучного інтелекту (ШІ) для прогнозування і контролю руху на рівні міста [3; 4].

Більше того, значення інтернету речей (IoT) і інтелектуального транспорту в розумних містах ретельно розглядається і впроваджується останні роки [5 – 7].

Проте проблема транспортних заторів (ТЗ) досі лишається актуальною для багатьох великих міст на різних континентах [8]. Актуальною ця задача є і для більшості великих міст України, транспортна система (ТС) яких зазнала і продовжує зазнавати масштабних руйнувань внаслідок збройної агресії, яку з 24.02.2022 на території країни веде російська федерація [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У сфері інтелектуального керування трафіком великих міст проводиться багато робіт, спрямованих на створення інноваційних рішень із використанням великих даних, ШІ та технологій IoT.

У роботі [10]:

– досліджено роль технології обробки великих даних і політику розумного урбанізму в розробці розумних рішень трафіку;

– запропоновано нейронну структуру для прогнозування і контролю міського руху.

У [3] для ефективного прогнозування трафіку в розумних містах представлено модель оптимізації SMOBGRU-TP, що призначена для прогнозування трафіку з підтримкою глибинного навчання. Попереднє опрацювання вхідних даних виконується з використанням міні-максної нормалізації.

Модель SMOBGRU-TP була експериментально підтверджена, і результати прогнозування були кращими серед інших моделей, що розроблялися для розумних міст.

У [7] показано архітектуру розумної системи міського трафіку, яка в режимі реального часу нагадує користувачеві про дотримання правил безпеки і надає можливість:

- оцінювати умови дорожнього руху;
- отримувати інформацію про транспортний засіб.

Таким чином оптимізація трафіку основана на спілкуванні IoT, що надає суттєві переваги у збиранні і аналізі даних трафіку для ефективного міського планування. При математичному обґрунтуванні оптимізації шляху в [7] кожен вузол мережі розглядається як абстрактна точка з нульовою затримкою. Це одне з основних обмежень моделі, оскільки в реальній мережі доріг неминучо буде значна затримка на світлофорах.

У [5] запропоновано систему прогнозування трафіку і управління сигналами світлофорів розумного міста на основі IoT. У цій системі для прогнозування трафіку використовується OWENN алгоритм, а для контролю світлофорів – Intel 80,286 мікропроцесор.

Важливу роль у розвитку інтелектуальних ТС відіграють сенсорні технології [2], що допомагають інтегрувати в транспортну інфраструктуру розумних міст датчики для покращення керування трафіком і безпеки руху. А використання нейроінспірованих структур прогнозування і контролю трафіку міста надає потужний потенціал розвитку інноваційних підходів до вирішення проблем ТЗ з використанням технологій великих даних, глибинного навчання, графічних процесорів і обчислення в пам'яті. Це робить можливим прогнозування трафіку великого міста в режимі реального часу [11; 12].

Зазначені вище роботи складають невеличку частку досліджень, що спрямовані на подолання ТЗ, проте ця проблема досі не вирішена, про що свідчать дані інформаційного ресурсу [8], який веде безперервний моніторинг ТЗ (рис. 1, 2).

Саме тому це дослідження також спрямоване на вирішення проблеми ТЗ.

У цій статті дістали подальшого розвитку дослідження, в яких описано моделі:

- інтелектуальної системи керування дорожнім рухом (ІСКДР) великого міста [13];
- адаптивної системи керування світлофорами на складному чотиристоронньому перехресті, яка є підсистемою ІСКДР [14];
- розподіленої системи обробки даних, що інтегрується із системою адаптивного керування світлофором [15].

На відміну від [13 – 15], у фокусі цієї статті інформаційна інтелектуальна технологія розумного керування трафіком великого міста, що передбачає застосування онтолого-керуваного підходу до розв'язання задач навігації, моделювання і керування дорожнім рухом [16] з використанням ІСКДР.

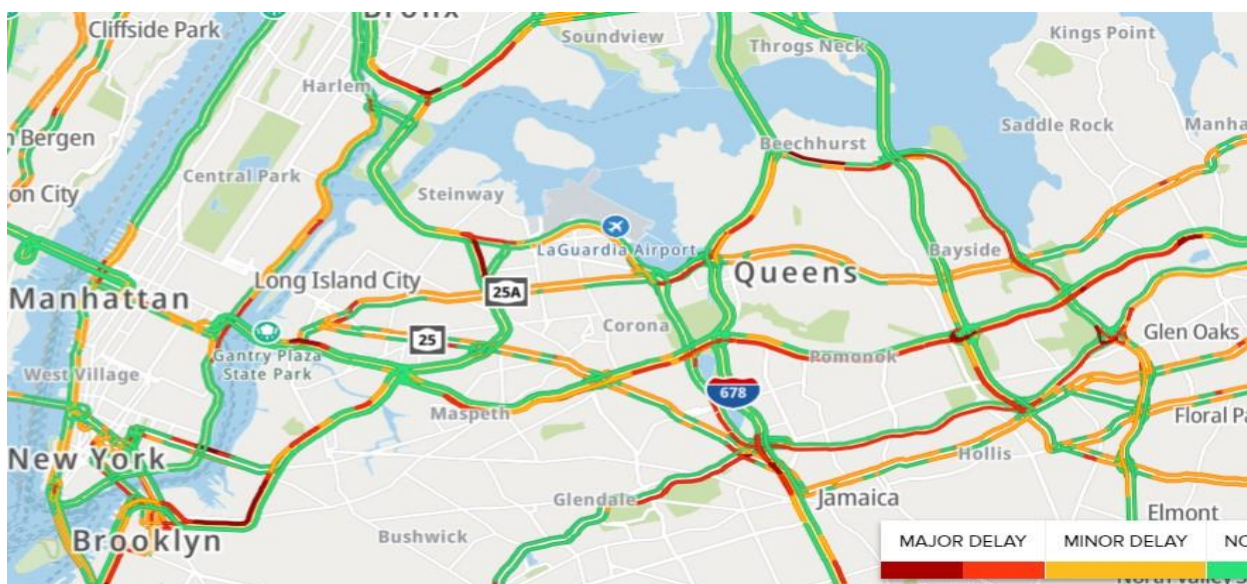


Рисунок 1 – Фіксація стану мережі доріг м. Нью Йорк, що характерний для багатьох великих міст в усьому світі [5]

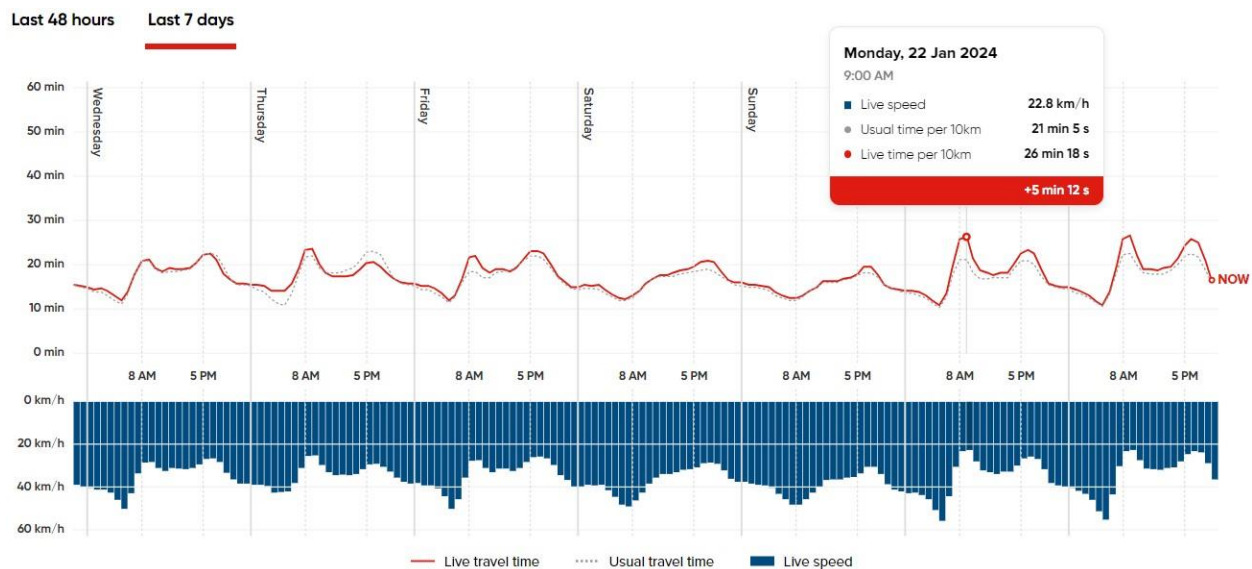


Рисунок 2 – Погодинна швидкість і час подорожі за 7 днів [5]

Незважаючи на прогрес, що спостерігається в автоматизації процесів розроблення онтологій, ще є аспекти, які вимагають втручання людини. Розробка онтології домену «Дорожній рух» ІСКДР не може бути повністю автоматизована через обмеження в охопленні складних зв'язків і контексту домену «Дорожній рух», які можуть розрізнити люди.

Мета і задачі публікації

Метою цієї роботи є формування концепту онтології «Моделі рішень» для прогнозування і керування транспортними потоками великих міст шляхом розумного розподілу транспортних потоків.

Виклад основного матеріалу

Незважаючи на прогрес автоматизації процесів розроблення онтологій, лишилися аспекти, що потребують втручання людини. Розробка сталонної онтології домену «Дорожній рух» ІСКДР не може бути повністю автоматизована через обмеження в охопленні складних зв'язків і контексту домену, які недостатньо формалізовані щодо людей, а саме:

- складність формалізації схожих динамічних сцен нестандартних ситуацій з порушенням правил дорожнього руху, які мають різні причини і наслідки;
- складність досягнення консенсусу, оскільки різні джерела і методи збирання даних для систем управління дорожнім рухом використовують різні семантичні моделі і різну термінологію для опису об'єктів і подій у просторі, що може призвести до конфліктів у розумінні даних і ускладнити їхню інтеграцію з ІСКДР [17].

Структуру концепту «Моделі рішень» онтології ІСКДР і схему формування гібридної моделі рішень, що спрямовані на розвантаження певної ділянки дороги, показано на рис. 3.

Для формалізації понять концепту використано такі скорочення і позначення:

- АМК – алгоритм мурашиних колоній;
- БМ – біологічні моделі;
- ГА – генетичні алгоритми;
- ГП – генетичне програмування;
- ДЕ – диференціальна еволюція;
- ЕП – еволюційне програмування;
- ЕС – еволюційна стратегія;
- КЕА – коеволуційний алгоритм;
- ФМ – фізичні моделі;
- ХМ – хімічні моделі;
- УК – універсальний класифікатор;
- CNN – Convolutional Neural Networks (згортова нейронна мережа);
- RNN – Recurrent Neural Network (рекурентна нейронна мережа);
- \vec{P} – набір параметрів моделі;
- \vec{G} – набір обмежень моделі;
- \vec{Z} – набір цільових функцій.

При математичному обґрунтуванні оптимізації шляху в моделях концепту МР кожен вузол мережі (перехрестя) характеризується певною затримкою, яка входить до набору параметрів моделі і оцінюється за даними статистичних спостережень.

Статистичні дані також використовуються для навчання моделей ШІ.

При формуванні СМ виконується така обробка даних, що надходять з камер відеоспостережень:

- декодування відеопотоку;
- екстракція потрібних даних;
- очистка і фільтрація від помилок і шумів;
- агрегування даних;

аналіз даних для визначення тенденцій і закономірностей в потоці трафіку.

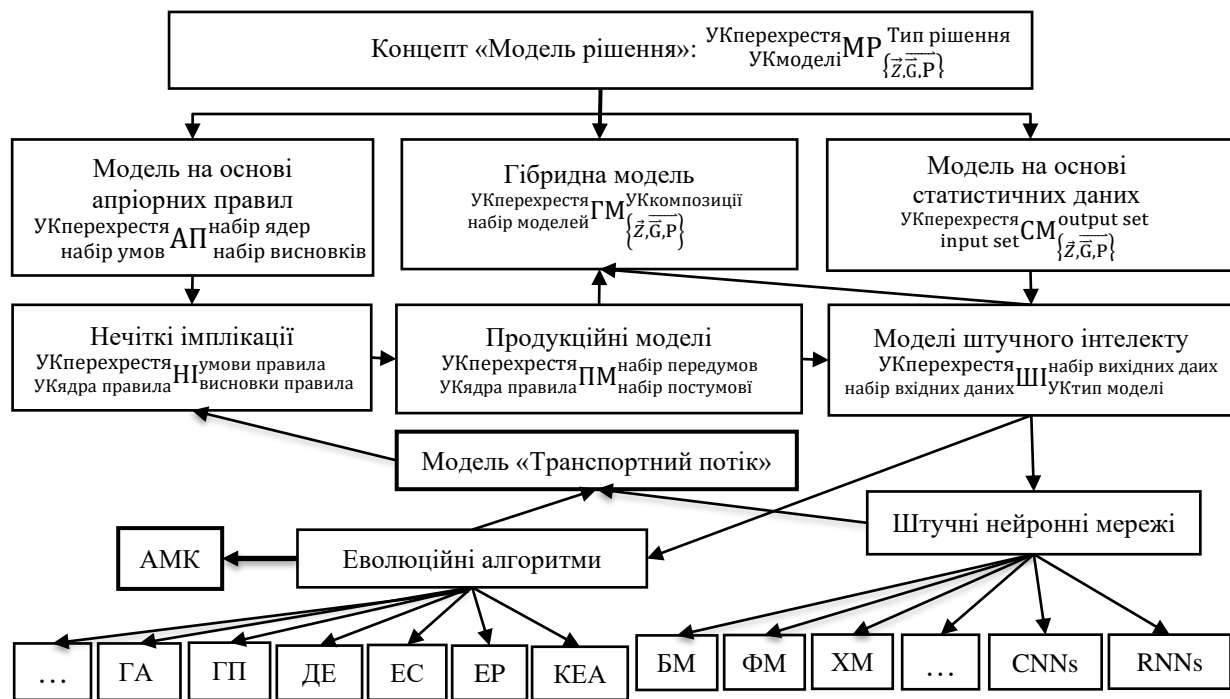


Рисунок 3 – Структура концепту «Моделі рішень»

Таким чином гібридні МР в режимі реального часу:

- формуються з набору умов, які склалися в околі певного перехрестя і висновків, які прописані в правилах дорожнього руху;
- визначають керуючі дії системи адаптивного керування світлофором щодо надання «зеленого світла» ТЗ, які займають найбільш завантажену полосу певної ділянки дороги.
- При цьому передбачається, що:
 - визначення правил зміни набору сигналів відповідно до правил дорожнього руху залишається сферою нечіткої математики;
 - розпізнавання стану ділянки дорожньої мережі, виявлення ТЗ у відеопотоці, виявлення руху ТЗ і відстеження їх траєкторії можна вирішити за допомогою таких моделей, як CNNs;
 - задача навчання приймати рішення щодо тривалості сигналів світлофорів з урахуванням постумов моделями на даному етапі дослідження вирішується моделями RNN;
 - оптимізація складних рішень може здійснюватися з використанням еволюційних чи генетичних алгоритмів;
 - моделювання руху транспортних засобів дорожньою мережею міста та пошук найкоротшого шляху може бути реалізовано методом мурашиних колоній (рис. 4).

У роботі [18] детально описано математичні аспекти алгоритму мурашиних колоній і показано його переваги при визначенні максимальних потоків між заданими парами вершин при максимізації

потіку між усіма парами вершин транспортної мережі. Прогнозування на основі цієї моделі може значно покращити ситуацію на дорогах за умови завчасного перерозподілу потоків на дорогах, що ведуть до надмірно завантажених перехресть міста. Тому в наступному дослідженні планується адаптувати цей алгоритм до розв’язання задачі покращення трафіку великого міста.

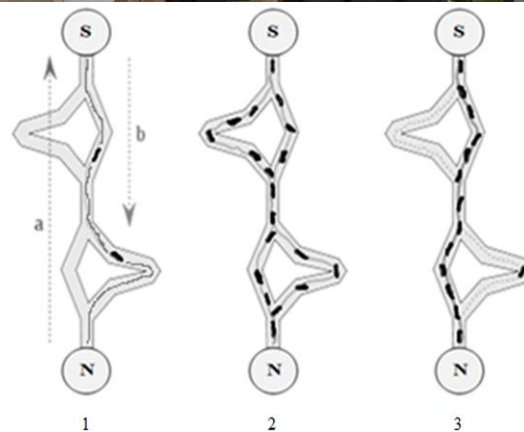


Рисунок 4 – Пошук найкоротшого шляху методом мурашиних колоній

Висновки

1. На основі аналізу наявних розробок, спрямованих на оптимізацію стохастичного транспортного потоку великого міста, встановлено доцільність створення концепту «Моделі рішень» для інтелектуальної системи керування дорожнім рухом великого міста.

2. Використовуючи сучасні системи спостереження та інформаційні ресурси, що працюють у режимі реального часу і накопичують історичні тенденції, описана система обіцяє зменшити затори на дорогах завдяки динамічному

контролю сигналів світлофора, оптимізованому супроводженню маршруту та стратегіям управління попитом.

3. Запропоновано структуру концепту «Моделі рішень» онтології інтелектуальної системи керування дорожнім рухом великого міста і схему формування гібридної моделі рішень, що спрямовані на розвантаження певної ділянки дороги.

4. Визначено задачі, які будуть розв'язувати моделі штучного інтелекту, і показано можливість використання алгоритму мурашиних колоній в задачі пошуку найкоротшого шляху.

Список літератури

1. Nguyen H. P., Nguyen P. Q. P., Bui V. D. Applications of Big Data Analytics in Traffic Management in Intelligent Transportation Systems. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*. 2022. Vol. 6, no. 1–2. P. 177. URL: <https://doi.org/10.30630/joiv.6.1-2.882>.
2. Culita, J., Caramihai, S. I., Dumitrache, I., Moiescu, M. A., & Sacala, I. S. (2020). An Hybrid Approach for Urban Traffic Prediction and Control in Smart Cities. *Sensors*, 20 (24), 7209. URL: <https://doi.org/10.3390/s20247209>.
3. Ahmed Hamza, M., Alsolai, H., S. Alzahrani, J., Alamgeer, M., Mahmoud Sayed, M., Sarwar Zamani, A., Yaseen, I., & Motwakel, A. (2022). Intelligent Slime Mould Optimization with Deep Learning Enabled Traffic Prediction in Smart Cities. *Computers, Materials & Continua*, 73 (3), 6563–6577. URL: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.031541>.
4. Joo, H., Ahmed, S. H., & Lim, Y. (2020). Traffic signal control for smart cities using reinforcement learning. *Computer Communications*, 154, 324–330. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.03.005>.
5. Neelakandan, S., Berlin, M. A., Tripathi, S., Devi, V. B., Bhardwaj, I., & Arulkumar, N. (2021). IoT-based traffic prediction and traffic signal control system for smart city. *Soft Computing*, 25 (18), 12241–12248. URL: <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05896-x>.
6. An IoT Based Intelligent Traffic Management System and Its Implementation on Cupcarbon for Smart Cities. (2021). *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 9 (11), 1387–1394. URL: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/049112021>.
7. Jiang, J. (2021). Intelligent City Traffic Scheduling Optimization Based on Internet of Things Communication. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 1–10. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/7823982>.
8. TomTom traffic index. Ranking 2024. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/.
9. Скрипаль А. Удар по дорогах України: 25 тис. км зруйновано, більшість об'єктів доведеться будувати з нуля, 2023, URL: <https://trans.info/ua/udar-po-dorogah-ukrayini-25-tis-km-zruynovano-bilshist-obyektiv-dovedetsya-buduvati-z-nulya-324170>.
10. Kitchin, R. (2013). The Real-Time City? Big Data and Smart Urbanism. *SSRN Electronic Journal*. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2289141>.
11. Hou, Q., Leng, J., Ma, G., Liu, W., & Cheng, Y. (2019). An adaptive hybrid model for short-term urban traffic flow prediction. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 527, 121065. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121065>.
12. Aqib, M., Mehmood, R., Alzahrani, A., Katib, I., Albeshri, A., & Altowaijri, S. M. (2019). Smarter Traffic Prediction Using Big Data, In-Memory Computing, Deep Learning and GPUs. *Sensors*, 19 (9), 2206. URL: <https://doi.org/10.3390/s19092206>.
13. Mazurenko, R. & Yeremenko, B. (2023). Intelligent Road Transport Flow Management System: Basic Ontology Concepts. *Management of Development of Complex Systems*, 55, 192–197. [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.192-197](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.192-197).
14. Mazurenko R., Yeremenko B. and Morozov V. "Development of Intelligent Traffic Control System Project," 2022 *International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Nur-Sultan, Kazakhstan, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIST54437.2022.9945759.
15. Yeremenko, B., Mazurenko, R., Stetsyk, O., & Buhrov, A. (2023). Intelligent Management of Traffic Flows in Large Cities. In *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology* (pp. 33–42). Springer International Publishing. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_4.
16. Касім А. М. Онтолого-керований геопортал для моделювання задач навігації та управління різномісними рухомими об'єктами, Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Глушківські читання», 26 жовтня 2023 року, с. 61–64.
17. Neuhaus, F., & Hastings, J. (2022). Ontology development is consensus creation, not (merely) representation. *Applied Ontology*, 1–19. URL: <https://doi.org/10.3233/ao-220273>.
18. Pashko, A., Oleshko, T., & Biesiedina, S. (2022). Stochastic Algorithms for Optimization of the Path of Robotic Systems. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (pp. 227–236). Springer International Publishing. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8_20.

Стаття надійшла до редколегії 20.02.2024

Mazurenko Roman

Postgraduate student of Department of Information Technology Design and Applied Mathematics,

<https://orcid.org/0000-0003-3954-9423>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

Yeremenko Bohdan

PhD (Eng.), Department of Management Technology,

<https://orcid.org/0000-0002-3734-0813>

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

**INTELLIGENT TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM
OF A BIG CITY: ONTOLOGY CONCEPT “DECISION MODELS”**

Abstract. *The problem of traffic jams is still relevant for the transport system of many large cities on different continents. The work is aimed at the formation of an ontologically controlled technology, which is based on the use of available means of data production, information resources, modelling of traffic forecasting of large cities and traffic management based on these forecasts. That is why it pays great attention to the research of innovative solutions to the problem of optimizing traffic through the city network using big data, artificial intelligence models, and Internet of Things technologies. At the same time, the main aspects that require human intervention in the development of the reference ontology of the “Road Traffic” domain are defined. The scientific novelty of the work arises in the creation of the ontology concept “Decision Model”, which will later become the basis of intelligent informational technology for effective traffic management in large cities. This development is crucial for solving traffic congestion problems by intelligently distributing traffic flows through the city road network, as it unifies the knowledge representation. The attention is focused on the scheme of formation of a hybrid model of decisions, which are at various stages of execution of the control actions of the system. The task that will be solved by the artificial intelligence model is defined. The possibility of using the ant colony algorithm to find the shortest path is also shown.*

Keywords: *ant algorithm; hybrid model; information resource; smart city; technocratic management; transport agent*

References

1. Nguyen H. P., Nguyen P. Q. P., Bui V. D. (2022). Applications of Big Data Analytics in Traffic Management in Intelligent Transportation Systems. JOIV: International Journal on Informatics Visualization. Vol. 6, no. 1-2. P. 177. URL: <https://doi.org/10.30630/joiv.6.1-2.882>.
2. Culita, J., Caramihai, S. I., Dumitrache, I., Moisescu, M. A., & Sacala, I. S. (2020). An Hybrid Approach for Urban Traffic Prediction and Control in Smart Cities. Sensors, 20(24), 7209. URL: <https://doi.org/10.3390/s20247209>
3. Ahmed Hamza, M., Alsolai, H., S. Alzahrani, J., Alamgeer, M., Mahmoud Sayed, M., Sarwar Zamani, A., Yaseen, I., & Motwakel, A. (2022). Intelligent Slime Mould Optimization with Deep Learning Enabled Traffic Prediction in Smart Cities. Computers, Materials & Continua, 73(3), 6563–6577. URL: <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.031541>
4. Joo, H., Ahmed, S. H., & Lim, Y. (2020). Traffic signal control for smart cities using reinforcement learning. Computer Communications, 154, 324–330. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.03.005>
5. Neelakandan, S., Berlin, M. A., Tripathi, S., Devi, V. B., Bhardwaj, I., & Arulkumar, N. (2021). IoT-based traffic prediction and traffic signal control system for smart city. Soft Computing, 25(18), 12241–12248. URL: <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05896-x>
6. An IoT Based Intelligent Traffic Management System and Its Implementation on Cupcarbon for Smart Cities. (2021). International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 9(11), 1387–1394. URL: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/049112021>
7. Jiang, J. (2021). Intelligent City Traffic Scheduling Optimization Based on Internet of Things Communication. Wireless Communications and Mobile Computing, 2021, 1–10. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/7823982>
8. TomTom traffic index. Ranking 2024. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/
9. Skripal A. Blow to the roads of Ukraine: 25 thousand km destroyed, most of the objects will have to be built from scratch, 2023, URL: <https://trans.info/ua/udar-po-dorogah-ukrayini-25-tis-km-zruynovano-bilshist-obyektiv-dovedetsya-buduvati-z-nulya-324170>
10. Kitchin, R. (2013). The Real-Time City? Big Data and Smart Urbanism. SSRN Electronic Journal. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2289141>
11. Hou, Q., Leng, J., Ma, G., Liu, W., & Cheng, Y. (2019). An adaptive hybrid model for short-term urban traffic flow prediction. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 527, 121065. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121065>
12. Aqib, M., Mehmood, R., Alzahrani, A., Katib, I., Albeshri, A., & Altowaijri, S. M. (2019). Smarter Traffic Prediction Using Big Data, In-Memory Computing, Deep Learning and GPUs. Sensors, 19(9), 2206. URL: <https://doi.org/10.3390/s19092206>.

13. Mazurenko, R. & Yeremenko, B. (2023). Intelligent Road Transport Flow Management System: Basic Ontology Concepts. *Management of Development of Complex Systems*, 55, 192–197, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2023.55.192-197
14. R. Mazurenko, B. Yeremenko and V. Morozov, "Development of Intelligent Traffic Control System Project," 2022 International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Nur-Sultan, Kazakhstan, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIST54437.2022.9945759.
15. Yeremenko, B., Mazurenko, R., Stetsyk, O., & Buhrov, A. (2023). Intelligent Management of Traffic Flows in Large Cities. In *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology* (pp. 33–42). Springer International Publishing. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_4.
16. Kasim A.M. Ontologo-controlled geoportal for modeling problems of navigation and control of different types of moving objects, *Materials of the XI International Scientific and Practical Conference "Glushkov Readings,"* October 26, 2023, pp. 61-64.
17. Neuhaus, F., & Hastings, J. (2022). Ontology development is consensus creation, not (merely) representation. *Applied Ontology*, 1–19. URL: <https://doi.org/10.3233/ao-220273>.
18. Pashko, A., Oleshko, T., & Biesiedina, S. (2022). Stochastic Algorithms for Optimization of the Path of Robotic Systems. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (pp. 227–236). Springer International Publishing. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8_20
-

Посилання на публікацію

- APA Mazurenko, R., & Yeremenko, B. (2024). Intelligent traffic management system of a big city: ontology concept “decision models”. *Management of Development of Complex Systems*, 57, 174–180, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.57.174-180.
- ДСТУ Мазуренко Р. В., Єременко Б. М. Інтелектуальна система керування трафіком великого міста: концепт онтології «моделі рішень». *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 57. С. 174 – 180, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2024.57.174-180.