

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Київського національного університету
будівництва і архітектури
докторці технічних наук, професорці
Веренич Олені Володимирівні

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Гнатушенка Володимира Володимировича
на дисертаційну роботу Мазуренка Романа Володимировича
«Інтелектуальна система керування трафіком великого міста», що представлена
на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні
системи та технології» галузі знань 12 «Інформаційні технології»

Актуальність теми дисертації.

Транспортні затори досі залишається однією з невирішених проблем багатьох великих міст, яка має значний вплив на їх соціально-економічний розвиток. Цю проблему можна вирішувати шляхом будівництва нових доріг, шляхопроводів і транспортних розв'язок, але цей шлях, як правило, економічно не доцільний і часто не можливий в умовах існуючої забудови. Інтеграція засобів аналізу великих даних з інтелектуальними транспортними агентами та системами є ключовим фактором розвитку розумних міст. Ця інтеграція сприяє оптимізації міського трафіку, зосереджуючи увагу на інтелектуальних системах управління транспортними потоками, які виступають центральними компонентами. Інноваційні технології штучного інтелекту, що моделюють поведінку транспортних засобів, водіїв та інших учасників дорожнього руху, відіграють важливу роль у розробці та вдосконаленні таких систем. Сенсорні технології також мають вирішальне значення для покращення керування дорожнім рухом, особливо через їх використання в інтелектуальних системах керування світлофорами. Автор дисертаційної роботи пропонує вирішувати проблему транспортних заторів шляхом оптимізації трафіку міста, зосереджуючись на зменшенні тривалості поїздки шляхом мінімізації часу очікування в заторах. При цьому для координації і оптимізації руху транспортну в режимі реального часу пропонується використовувати технології штучного інтелекту. Це дає змогу покращити контроль руху та підвищити загальну мобільність жителів міста з меншими витратами.

Все це визначає актуальність дисертаційної роботи Мазуренка Романа Володимировича, що спрямована на зменшення транспортних заторів у сучасних великих містах шляхом впровадження сучасних технологій штучного інтелекту.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Основні наукові положення і висновки, що сформовані в дисертації, були представлені та обґрунтовані в трьох авторських публікаціях і висвітлені та обговорені на трьох міжнародних наукових конференціях. Публікації здобувача відповідають вимогам, що встановлені «Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженим постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

Обґрунтованість результатів дослідження підтверджена актами їхнього впровадження в науково-дослідну роботу комунального підприємства «Центр організації дорожнього руху», що свідчать про цінність запропонованої інтелектуальної системи керування трафіком великого міста, яка полягає в комплексному ефективному підході до керування трафіком у режимі реального часу в динамічному частково-спостережуваному середовищі.

Таким чином отримані результати, висновки і рекомендації отримали визнання фахівців галузі, що підтверджує високий рівень науково-практичного дослідження і його відповідність сучасним стандартам.

Структура, обсяг роботи.

Дисертація загальним обсягом 162 сторінки складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 138 найменувань та додатків, у які винесені список апробацій наукових здобутків дисертанта та довідки (акти) впровадження результатів. Оформлення дисертації в цілому відповідає необхідним вимогам.

Характеристика роботи, новизна розроблених наукових положень.

У вступі автором подано загальну характеристику дисертації, визначено актуальність теми, сформульовано мету дослідження, окреслено коло наукових та прикладних задач, розв'язання яких забезпечує реалізацію мети роботи, показана практична цінність роботи. Наведено відомості про апробацію та публікації результатів досліджень.

У першому розділі автором проведено дослідження моделей штучного інтелекту та сучасних інформаційних і інтелектуальних систем керування трафіком, які вже використовуються для керування світлофорами та координації і оптимізації руху транспорту. На основі цього комплексного дослідження проблем дорожнього руху, що пов'язані з транспортними заторами дисертантом з'ясовано, що для вирішення проблеми заторів у великих містах в умовах

обмеження матеріальних ресурсів доцільно зосередитись на розробці інтелектуальної системи, яка використовує можливості існуючих моделей і методів штучного інтелекту. Це дає змогу покращити контроль руху і підвищити загальну мобільність жителів міста з меншими витратами.

У другому розділі Р.В. Мазуренком запропоновано концептуальну модель інтелектуальної системи керування трафіком великого міста та окреслено напрямок формування гібридних моделей керування трафіком. Розширено понятійний апарат онтології системи в напрямку наближення моделі трафіка міста до реального аналога для надання агентам світлофора семантичного розуміння моделі середовища. Автором виявлено основні обмеження існуючих в Україні систем керування світлофорами в умовах невизначеності, що спричинена необхідністю вибору кращого рішення з множини прийнятних альтернатив та окреслено можливості штучного інтелекту у вирішенні задач покращення трафіку великого міста.

У третьому розділі дисертантом розглянуто архітектуру інтелектуальної системи керування трафіком та обґрунтовано доцільність застосування в системі нереляційної бази даних архітектури Касандра. На основі аналізу потенціалу алгоритмів, які доцільно використовувати при вирішенні задач інтелектуального керування комплексом світлофорів, автором обґрунтовано переваги децентралізованих багатоагентних алгоритмів навчання з підкріпленням. Описано базову концепцію навчання і визначено цільову функцію. Мазуренком Р.В. показано можливість спілкування агентів шляхом обміну повідомленнями, детально описано процес формування повідомлень, синхронізації роботи світлофорів і здатність моделі прийняття рішень до адаптації за рахунок застосування навчання з підкріпленням.

У четвертому розділі автором на основі проведеного аналізу переваг і недоліків існуючих програмних пакетів, що розроблені для моделювання міського і регіонального трафіку, обґрунтовано вибір пакету Simulation of Urban Mobility. Описано процес налаштування і процедуру запуску симуляції, формування набору даних для навчання з підкріпленням і середовище навчання. На прикладі м. Києва дисертантом детально описано процес моделювання дорожнього руху з урахуванням точок інтересу і проведено експериментальні дослідження, на основі яких сформовано навчальне середовище для моделі керування світлофорами за алгоритмами Q-learning, Deep Q-Network, Proximal Policy Optimization і True Online Temporal-Difference Learning. На основі проведених експериментальних досліджень для подальшого навчання в реальних умовах і впровадження автором рекомендовано модель керування світлофорами, яка навчена за алгоритмом True Online Temporal-Difference Learning.

У висновках зазначені наукові результати, які повністю відповідають меті та задачам дисертаційного дослідження.

У додатках наведені список апробацій наукових здобутків дисертанта та довідки (акти) впровадження результатів.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

У дисертаційному дослідженні Мазуренка Р. В. «Інтелектуальна система керування трафіком великого міста» удосконалено архітектуру розподіленої високонавантаженої інтелектуальної системи, яка здатна оптимізувати трафік міста шляхом вибору кращого рішення з множини прийнятних альтернатив. Також автором розроблено інтелектуальну модель керування комплексом світлофорів, в основу навчання якої покладено мультиагентний підхід навчання з підкріпленням на моделі мережі доріг і перехресть, розташування об'єктів інтересу водіїв транспортних засобів і умов руху, які наближені до реальних. Таким чином в роботі набув подальшого розвитку мультиагентний підхід навчання з підкріпленням для керування трафіком в напрямку пришвидшення навчання моделей штучного інтелекту за рахунок закладання в основу моделювання реальних умов руху. Формування тренувальної і тестової вибірки для навчання моделі керування світлофорами вперше виконано для міста Києва.

Отже, можна зробити висновок, що винесені на захист положення мають теоретичну та прикладну новизну у галузі інформаційних технологій.

Значущість дослідження для науки і практики та шляхи його використання.

Теоретична і практична цінність дослідження Мазуренка Романа Володимировича полягає в комплексному ефективному підході до керування трафіком великого міста у режимі реального часу, в динамічному стохастичному частково-спостережуваному середовищі та розширенні понятійного апарату концепту онтологій «Транспортний потік» за рахунок наближення моделі середовища до реальних умов та надання інтелектуальним агентам, що керують світлофорами, семантичного розуміння моделі середовища.

Одержані в роботі результати створюють сприятливі передумови для адаптації комплексів керування світлофорами до реалій міста та їх швидкого та економічно-ефективного впровадження в транспортну систему, про що свідчить акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в науково-дослідну роботу відділу оптимізації режимів світлофорного регулювання комунального підприємства «Центр організації дорожнього руху».

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Мазуренка Романа Володимировича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, затвердженого та введеного в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 08.08.2023 р. № 955, та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

У дисертаційній роботі Мазуренка Романа Володимировича чітко прослідковується авторський стиль подачі матеріалу та формування висновків. Аналіз структури та змісту дисертаційної роботи та наукових праць, що опубліковані автором, дозволяє стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані ним особисто і повною мірою опубліковані та апробовані. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Розглянувши звіт за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Мазуренка Романа Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, має чітку структуру. Автор демонструє високий рівень майстерності у використанні мовленнєвого стилю та логічної організації тексту. Представлені в роботі аспекти в цілому викликають позитивні враження та свідчать про високий науковий рівень дослідницької праці.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні положення дисертаційної роботи Мазуренка Р.В. викладено в 5 наукових публікаціях, у тому числі 3 наукових статтях у фахових виданнях, одна із яких індексується в наукометричній базі SCOPUS та 2 працях апробаційного характеру у збірках матеріалів конференцій, одна із яких індексується в наукометричній базі SCOPUS.

Публікації здобувача відповідають вимогам, встановленим «Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження

ступеня доктора філософії» затвердженим постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

Недоліки та зауваження по роботі:

1. Вступ дисертації не містить опису наукової новизни одержаних автором результатів, хоча усі пункти наукової новизни сформульовані і наведені в анотації.
2. В науковій новизні одержаних результатів заявлено, що технологію проектування систем керування трафіком великого міста удосконалено в напрямку підвищення надійності і швидкості навчання моделі. З тексту дисертації не зрозуміло, на яких висновках базується ця заява автора.
3. На жаль автором чітко не сформульовано, зокрема у загальних висновках по роботі, *ЯКА САМЕ важлива науково-прикладна задача розв'язана в дисертаційному дослідженні.*
4. Висновки до розділів бажано б було закінчувати фразою: «*Основні наукові результати розділу опубліковані в працях автора [...]»*. Посилання на власні праці автора дало б змогу легко пересвідчитися у виконанні вимоги щодо обов'язкової публікації основних результатів дисертації.
5. В розділі 2 дисертантом описана гібридна стохастична модель, використання якої в подальшому не очевидне. Якщо ця теоретична частина стосується подальших симуляційних досліджень за іншими сценаріями, то можливо і її можна було б описати у відповідному ансамблі?
6. В розділі 3 здобувачем показані переваги і недоліки децентралізованих багатоагентних алгоритмів навчання з підкріпленням, але не зрозуміло, чому не розглядається можливість застосування інших підходів, таких як централізовані алгоритми і графово-рекурентна мережа, що також розроблялась для задачі покращення трафіку великих міст.
7. Поза увагою залишені питання числової стійкості та необхідних обчислювальних ресурсів розроблених автором моделей та методів при їхній комп'ютерній реалізації.
8. В тексті дисертації зустрічаються невдалі формулювання, друкарські помилки, стилістичні вади, деякі невідповідності в формулах і помилки в їх нумерації (наприклад, у другому розділі присутні дві формули з номером (2.10) на стор. 75 і стор.78).

Вважаю, що наведені зауваження мають окремий характер, не знижують високий науковий рівень та практичну цінність дисертаційної роботи і суттєво не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії Мазуренка Романа Володимировича на тему «Інтелектуальна система керування трафіком великого міста» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує важливе науково-практичне завдання.

Дисертаційна робота Р.В. Мазуренка загалом відповідає галузі знань 12 Інформаційні технології, спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» та вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44 зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 21 березня 2022 року № 341, а також «Вимогам до оформлення дисертації», затверджених Наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року №40 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки України від 31.05.2019 № 759), а її автор – Мазуренко Роман Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри інформаційних технологій
та комп'ютерної інженерії

Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

доктор технічних наук, професор

Володимир ГНАТУШЕНКО

Підпис В.В. Гнатушенка засвідчую

Вчений секретар

Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Таїсія КАЛЮЖНА

