

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора,

завідувача кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки

Приватної установи «Університет науки, підприємництва та технологій»

Семенова Сергія Геннадійовича

на дисертаційну роботу Литвиненка Михайла Ігоровича на тему

«Моделі та інтелектуальні інформаційні технології

підвищення ефективності керування

транспортними потоками світлофорного перехрестя»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

1. Актуальність теми дослідження

Ефективність функціонування міської транспортної системи безпосередньо впливає на економічні показники, якість надання транспортних послуг і екологічну ситуацію. Світлофорне регулювання є невід'ємним компонентом інтелектуальних транспортних систем в рамках концепції Smart City, однак зростання обсягів переміщень і різномірність засобів міської мобільності висувають вищі вимоги до адаптивності та інтелектуальності керування, що не у повній мірі забезпечується наявними централізованими моделями для одного перехрестя.

Такі інтелектуальні моделі не реалізують розподілене опрацювання запитів від мультимодальних й асиметричних транспортних потоків в умовах просторово-темпорально деталізованого світлофорного регулювання, а також не враховують невизначеність ланцюгового процесу вирішування щодо тривалості світлофорних сигналів. Розв'язання цього науково-прикладного завдання й визначає актуальність дисертаційного дослідження, яке присвячене розробленню моделей та інформаційних технологій підвищення ефективності

керування транспортними потоками світлофорного перехрестя для оптимізації темпоральної координації їх обслуговування.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилення та восьми додатків. Загальний обсяг роботи становить 222 сторінки, з них 154 сторінки основного тексту, 39 рисунків, 26 таблиць, 67 формул, перелік використаних джерел із 302 найменувань на 33 сторінках і 8 додатків на 15 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета, область застосування, припущення і граничні умови, задачі та методи дослідження, відображено зв'язок дослідження з науковими програмами кафедри, наведено наукову новизну та теоретичне і практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану питання. Розглянуто наявні традиційні й інтелектуальні методи для світлофорного регулювання перехрестя, зокрема нечітку логіку та навчання з підкріпленням в одно- та мультиагентних системах. Виявлено, що застосування просторово-темпорально деталізованих дій за децентралізованого навчання вимагає явного врахування невизначеностей для узгоджених координації і вирішування. За результатами аналізу сформульовано постановку задачі дослідження.

У другому розділі вирішується виявлений недолік наявних моделей нечіткого висновування для гнучкого децентралізованого світлофорного керування мультимодальними транспортними потоками перехрестя. Удосконалено і розвинуто ієрархічну експертну систему нечіткого висновування, розроблено інформаційну технологію, що інтегрує засіб мікроскопічного моделювання дорожнього руху, прогнозний модуль часу прибуття трамвая на перехрестя і дворівневу структуру керування сигналами.

У третьому розділі розглядається питання навчання децентралізованих стратегій координації світлофорних сигналів. Запропоновано концептуальну модель функціонування перехрестя на основі децентралізованого частково

спостережуваного марковського процесу вирішування з визначеними параметрами просторів спостережень і дій, а також функції винагороди. Для цієї моделі розроблено модель на основі мультиагентного розподільчого глибинного навчання з підкріпленням. Наведена інформаційна технологія інтегрує графове моделювання обмежень сумісності сигналів, асиметричну дворівневу поетапну структуру вирішування, середовище взаємодії з моделлю світлофорного перехрестя і модуль навчання децентралізованих стратегій.

У четвертому розділі наведено порівняльний аналіз і синтез двох підходів керування. Запропоновано єдину ієрархічну модель керування для мультиагентної системи перехрестя та розроблено відповідну інформаційну технологію, що забезпечує дворівневий процес прийняття рішень щодо черговості сигнальних груп і оптимізації тривалості сигналів.

Висновки за результатами виконаного дисертаційного дослідження узгоджені з науковою новизною та практичною значимістю проведених досліджень. Список використаних джерел містить переважно сучасні публікації, що відображають актуальний стан наукових досліджень за відповідними напрямками.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає 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 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами), та «Вимогам до оформлення дисертації», затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційну роботу виконано в період з 2022 р. по 2026 р. відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерного моделювання та інтелектуальних технологій (до 05.02.2026 р. — кафедра системотехніки) Харківського національного університету радіоелектроніки.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Вірогідність й обґрунтованість наукових результатів дослідження забезпечені коректним поєднанням теоретичних і експериментальних засобів. Формальне моделювання прийняття рішень здійснено за допомогою децентралізованого частково спостережуваного марковського процесу вирішування, для отримання мультиагентних стратегій координації використано підходи експертних систем нечіткого висновування і глибинного навчання з підкріпленням на основі баєсового висновування. Критерії оцінювання ефективності керування містять середню затримку транспортних засобів, затримку у перерахунку на особу, а також пропорційність між середньою тривалістю обслуговування й інтенсивністю потоків. Наукові положення підтверджені результатами експериментальної перевірки розроблених інтелектуальних інформаційних технологій на основі сучасного засобу моделювання міської мобільності SUMO. Отримані результати були представлені, прорецензовані й обговорені на міжнародних наукових конференціях; а також упроваджені в навчальний процес.

Таким чином, аналіз змісту дисертаційного дослідження дає можливість зробити висновок про належну обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 8 наукових праць, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України (категорії «Б») і 5 тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, одна з яких входить до МНБД Scopus.

У дисертаційній роботі одержано такі нові наукові результати:

1) уперше запропоновано концептуальну модель функціонування світлофорного перехрестя, що забезпечує сумісність з автономним навчанням на основі даних, зібраних наявними централізованими моделями, тоді як децентралізована структура задачі забезпечує теоретичну основу для

конфігурацій гетерогенних агентів і передавання стратегій між топологіями перехресть;

2) уперше запропоновано модель вирішування щодо тривалості світлофорних сигналів на основі мультиагентного глибинного навчання з підкріпленням, що дозволяє агентам досягти тривалого розвідування та скоординованої довгострокової взаємодії у рамках децентралізованого процесу вирішування, а також підвищує адаптивність і стійкість моделі до змін характеристик транспортного потоку;

3) удосконалено модель інтелектуального світлофорного керування транспортними потоками мультимодального перехрестя з використанням дворівневого децентралізованого процесу нечіткого вирішування, відмінність якої від аналогів полягає у врахуванні характеристик маршрутного руху для визначення черговості сигналів і застосуванні прогностичного керування для визначення часових параметрів сигналів, завдяки чому мінімізується час затримки і кількість зупинок трамваїв із незначним впливом на рух загального транспорту;

4) набула подальшого розвитку модель децентралізованого керування транспортними потоками мультимодального світлофорного перехрестя з урахуванням невизначеності вирішування, відмінність якої від аналогів полягає у правилах арбітражу запитів з оцінками впевненості, що дає можливість урегулювання конфліктів руху громадського транспорту, а також потоків транспорту різних видів.

6. Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження полягає у властивостях інтерпретованості рішень явної координації сигналів як мультиагентної системи перехрестя, що дозволяє підвищити ефективність світлофорного регулювання мультимодальних транспортних потоків у межах наявних інтелектуальних транспортних систем. Водночас можливості чутливого до невизначеностей процесу навчання децентралізованих стратегій сприяють застосуванню запропонованої моделі у суміжних галузях, що

характеризуються відсутністю повної інформації про поточний стан системи, затримкою сигналу зворотного зв'язку, і використанням обмежених у часі послідовностей елементарних рішень.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес кафедри КМІТ Харківського національного університету радіоелектроніки при проведенні лекційних та лабораторних занять з дисциплін «Сучасні методи оптимізації», «Методи глибинного навчання у комп'ютерних системах», «Нечіткі моделі та методи аналізу даних» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-науковою програмою «Системне проектування» спеціальності 122 Комп'ютерні науки (акт від 23.05.2026 р.).

7. Дотримання вимог академічної доброчесності

Аналіз тексту дисертації та наукових праць здобувача свідчить, що робота є самостійно виконаною завершеною науковою працею, без ознак фальсифікації, компіляції чи плагіату. Запозичені ідеї та результати інших авторів супроводжуються посиланнями на відповідні джерела. Здобувачем зазначено мету і межі застосування конкретних засобів генеративного штучного інтелекту, й усі розділи, для написання яких використовувались засоби ШІ, були перевірені та відредаговані особисто. Отже, дисертаційна робота відповідає вимогам академічної доброчесності.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

Поряд із позитивною оцінкою роботи варто звернути увагу на низку дискусійних положень.

1. У запропонованій моделі Dec-POMDP потребує додаткового обґрунтування спосіб формування функції винагороди (3.1). Її нормування здійснюється відносно величини $d_{\max}(t)$, яка визначається як максимальне спостережуване значення затримки від початку моделювання. Таким чином, значення винагороди залежить не лише від поточного стану та дії, а й від попередньої траєкторії процесу. При цьому $d_{\max}(t)$ явно не включено до наведеного складу спостережень агентів. Доцільно було б додатково пояснити, яким чином за

такого визначення забезпечується стаціонарність функції винагороди та коректність марковської формалізації процесу вирішування.

2. Потребує уточнення ступінь експериментального підтвердження заявленої передаваності розроблених стратегій між різними топологіями перехресть. У меті дослідження зазначено можливість формування стратегій незалежно від топології перехрестя, а в положеннях наукової новизни стверджується про створення теоретичної основи для передавання стратегій між топологіями. Водночас експериментальні дослідження зосереджені на керуванні одним перехрестям, а в розділі 4 безпосередньо зазначено, що практичне масштабування на мережевий рівень не досліджувалося і передаваність розглядається переважно як концептуальна властивість. Доцільним було б провести експеримент типу «навчання на одній топології, а тестування на іншій» та кількісно оцінити втрату ефективності без повторного навчання або після обмеженого донавчання.

3. Експериментальна перевірка запропонованої моделі мультиагентного глибинного навчання з підкріпленням переважно спрямована на дослідження збіжності, режимів рівноваги та впливу гіперпараметрів. Водночас не наведено прямого порівняння запропонованої моделі за однакових умов моделювання з базовими MARL/RL-підходами або сучасними методами інтелектуального світлофорного керування. Це ускладнює кількісну оцінку того, який саме приріст ефективності, адаптивності та стійкості забезпечується запропонованою сукупністю механізмів (рекурентним поданням, розподільчим навчанням, RMAPS та механізмами стабілізації). Доцільним було б доповнити дослідження порівняльними й абляційними експериментами.

4. Потребує більш ґрунтовного кількісного обґрунтування твердження щодо підвищення стійкості запропонованої моделі навчання. Проведений автором експериментальний аналіз показує, що стабільне навчання досягається лише у вузькій області спільного простору гіперпараметрів, а незначні зміни окремих параметрів, зокрема коефіцієнта масштабування епістемічної невизначеності, можуть призводити до якісно різних результатів збіжності. Крім

того, Парето-оптимальна рівновага характеризується як найменш стабільна. Тому доцільно було б навести узагальнені статистичні характеристики для серії незалежних запусків: частку успішної збіжності, дисперсію кінцевих показників, довірчі інтервали та стійкість результатів до варіації параметрів транспортного попиту.

5. У четвертому розділі запропоновано єдину ієрархічну модель і відповідну інформаційну технологію, що концептуально об'єднує FES- та MARL-підходи. Разом із тим експериментальна перевірка такої інтегрованої архітектури як єдиної системи не проведена: модель на основі навчання не оцінювалася за повністю мультимодального попиту із застосуванням орієнтованих на людину показників ефективності, а можливість гібридизації правилowego та навчального підходів залишена як перспективний напрям. У зв'язку з цим доцільно було б чіткіше розмежувати експериментально підтверджені властивості єдиної інформаційної технології та її концептуально обґрунтовані можливості подальшого розвитку.

Висловлені зауваження мають дискусійний характер і не змінюють загальної позитивної оцінки роботи та цінності одержаних результатів.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Литвиненка Михайла Ігоровича на тему «Моделі та інтелектуальні інформаційні технології підвищення ефективності керування транспортними потоками світлофорного перехрестя» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальні науково-практичні завдання підвищення ефективності керування транспортними потоками мультимодальних світлофорних перехресть в умовах часткової спостережуваності та невизначеності просторово-темпорально деталізованих рішень.

Дисертаційна робота за змістом, структурою, обсягом та оформленням відповідає 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 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами), та «Вимогам до оформлення дисертації», затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40.

Здобувач Литвиненко Михайло Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

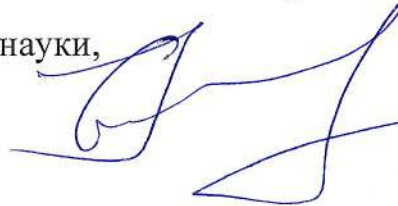
Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки

Приватної установи «Університет науки,

підприємництва та технологій»



Сергій СЕМЕНОВ

Підпис Семінова С.О.

засвідчує:

професор ПЧ

12.08.2026




Заслав МІЛЕНКО