

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора,
професора кафедри штучного інтелекту
Харківського національного університету радіоелектроніки
Філатова Валентина Олександровича
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 та обґрунтування вибору теми дослідження

Сучасні тенденції розвитку систем штучного інтелекту пов'язані з їх активним впровадженням у сферу керування складними динамічними об'єктами. Одним із таких об'єктів є міське світлофорне перехрестя з децентралізованим керуванням, що надає можливість вибірково активувати і переривати потоки зі стохастичним попитом. Разом із підвищеною структурною ефективністю такий спосіб світлофорного регулювання характеризується високим рівнем невизначеності щодо наслідків застосування рішень та необхідністю їх координації у режимі реального часу, через що питання оброблення невизначеності як з погляду окремих сутностей вирішування, так і щодо спільних стратегій рішень, стає неминучим.

Однак наявні інтелектуальні моделі переважно зосереджуються на керуванні з централізованими рішеннями високого рівня і не враховують питань детальної темпоральної координації транспортних потоків перехрестя. Через це суттєвий науковий і практичний інтерес становить застосування мультиагентних підходів та методів отримання самовдосконалюваних стратегій для адаптивного керування потоками. Відтак, координування

тривалостей сигналів через примітивні рішення в умовах часткової спостережуваності залишається невирішеним, що й зумовлює актуальність теми дисертаційного дослідження.

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

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання 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 дослідження, 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 окреслено сучасний стан питання інтелектуального світлофорного регулювання і прийняття рішень в умовах невизначеності загалом. Послідовно висвітлено питання ефективності світлофорного регулювання, наявні моделі й методи інтелектуального керування, а також моделі й методи навчання з підкріпленням в одно- та мультиагентних середовищах. На основі проведеного огляду визначено задачу дослідження.

Другий розділ розглядає питання координації сигналів на основі правил. Сигнальна група розглядається як сутність прийняття рішень, що є основою вдосконаленої ієрархічної моделі і розробленої інформаційної технології, яка інтегрує засіб мікроскопічного моделювання дорожнього руху, дворівневу структуру керування сигналами і прогнозний модуль часу прибуття трамвая на перехрестя.

Третій розділ присвячено питанню неявної координації. На базі проведених теоретичних досліджень здобувач розробляє теоретичну модель мультиагентної системи глибинного навчання з підкріпленням для світлофорного регулювання та виконує експериментальне дослідження, в

якому визначаються основні механізми стабілізації, структурні обмеження і критичні взаємодії гіперпараметрів, які є необхідними для збіжності до ефективних рівноваг координації.

Четвертий розділ вирішує завдання порівняльного аналізу і синтезу двох підходів керування. Наведено єдину мультиагентну модель керування з ієрархічним процесом вирішування і розроблено інтелектуальну інформаційну технологію, в якій обидва підходи розкладають задачу керування перехрестям на дві взаємопов'язані підзадачі: черговість сигналів й оптимізація їх тривалості.

Висновки до роботи відповідають поставленим завданням і підтверджують досягнення мети дослідження. Перелік використаних джерел є репрезентативним й охоплює переважно сучасні публікації за тематикою дослідження.

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 межах плану науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерного моделювання та інтелектуальних технологій (до 05.02.2026 р. — кафедра системотехніки) Харківського національного університету радіоелектроніки протягом 2022 – 2026 рр.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення дисертації мають належне теоретичне та експериментальне обґрунтування. Теоретична частина спирається на перевірений апарат децентралізованого частково спостережуваного

марковського процесу вирішування для формального моделювання прийняття рішень, підходи експертних систем нечіткого висновування та глибинного навчання з підкріпленням застосовані для отримання мультиагентних стратегій координації. Для оцінювання ефективності керування використано множину критеріїв, зокрема середню затримку транспортних засобів, пропорційність між середньою тривалістю обслуговування й інтенсивністю потоків, середню швидкість під час перетинання перехрестя громадським транспортом. Вірогідність результатів забезпечена експериментальною перевіркою розроблених інформаційних технологій на основі сучасного засобу моделювання міської мобільності SUMO, а також упровадженням у практику й апробацією на міжнародних наукових конференціях.

Таким чином, наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, можна вважати належно обґрунтованими.

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 отриманих результатів

Практична цінність роботи полягає в тому, що явна координація й інтерпретованість процесу висновування примітивних дій щодо тривалостей сигналів дозволяють застосувати удосконалену модель в межах наявних інтелектуальних транспортних систем з метою підвищення ефективності світлофорного регулювання мультимодальних транспортних потоків. Запропонована модель децентралізованого мультиагентного навчання з підкріпленням створює основу для побудови адаптивних систем керування, здатних функціонувати в умовах невизначеності, часткової спостережуваності та змінного транспортного попиту. Отримані результати можуть бути використані у розробці перспективних систем керування у транспортній галузі, а також у суміжних прикладних сферах, де необхідна координація автономних агентів у режимі реального часу.

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 впровадження від 23.05.2026 р.).

7. Дотримання вимог академічної доброчесності

За результатами аналізу тексту дисертації та публікацій здобувача порушень академічної доброчесності не виявлено. Робота є самостійним, завершеним дослідженням, не містить ознак плагіату, фабрикації чи фальсифікації, а використані результати інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями на джерела. В методах дослідження зазначено цілі та межі застосування конкретних засобів генеративного штучного інтелекту, й усі розділи, для написання яких використовувались засоби ШІ, перевірені та відредаговані здобувачем особисто. Таким чином, дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

За загальної позитивної оцінки дисертації доцільно зупинитися на окремих дискусійних положеннях.

1. Питання інтеграції запропонованих моделей у реальні інтелектуальні транспортні системи розглянуто на концептуальному рівні та потребує більш детального опрацювання.

2. Експериментальні дослідження виконано у середовищі моделювання SUMO, однак було б доцільно перевірити результати на реальних даних.

3. У дисертації варто приділити більше уваги питанню доцільності застосування теорії нечітких множин і фіксованих функцій належності для ефективного світлофорного регулювання.

4. У дисертаційній роботі недостатньо повно представлено структуру мультиагентної системи, зокрема з урахуванням сучасних підходів до побудови складних розподілених інформаційних систем.

Наведені зауваження мають дискусійний характер і не позначаються на позитивній оцінці дисертації та практичній цінності її результатів.

9. Загальні висновки щодо дисертації

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

Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та практичною значущістю 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, а її автор Литвиненко Михайло Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри штучного інтелекту,
Харківського національного університету
радіoeлектроніки



Валентин ФІЛАТОВ