

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора,
завідувача кафедри інформаційних управляючих систем
Харківського національного університету радіоелектроніки
Петрова Костянтина Едуардовича
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

Зі збільшенням попиту на транспортні послуги, в сучасних містах зростає потреба в розробці систем автоматичного прийняття рішень для управління потоками на світлофорних перехрестях в реальному часі, яке відбувається в умовах неповної інформації та наявності суперечливих критеріїв ефективності. Зокрема децентралізоване керування перехрестям забезпечує вищу гнучкість рішень, а також стійкість до змін динамічних характеристик різномірних транспортних потоків. Однак реалізація такого способу прийняття рішень ускладнюється необхідністю послідовного розподілення сумісних потоків у часі за умов невизначеності.

Для досягнення бажаного рівня ефективності, модель керування транспортними потоками має забезпечувати координацію просторово-темпорально деталізованих рішень в умовах часткової спостережуваності. Проте більшість інтелектуальних методів прийняття рішень щодо тривалості сигналів світлофорів є централізованими, що обмежує адаптивність стратегій керування, або покладаються на розтягнуті в часі децентралізовані рішення, що унеможливорює застосування навчання на основі апіорних даних, зібраних

наявними централізованими моделями. Необхідність подолання цього обмеження зумовлює актуальність теми дисертаційного дослідження.

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

Дисертація 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, перелік використаних джерел із 302 найменувань на 33 сторінках і 8 додатків на 15 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та теоретичне і практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про апробацію та публікації здобувача.

У першому розділі проаналізовано розвиток і сучасний стан питання світлофорного регулювання руху транспортних потоків, а також вплив джерел невизначеності на процес прийняття рішень. Окремо розглянуто питання ефективності керування в системах з навчанням. Виявлено структурні та функціональні обмеження наявних моделей і методів. На основі проведеного аналізу визначено задачу дослідження.

У другому розділі удосконалено та розвинуто експертні системи нечіткого виведення з ієрархічним процесом прийняття рішень. Розроблена інформаційна технологія інтегрує засіб мікроскопічного моделювання дорожнього руху, дворівневу структуру керування сигналами і прогностичний модуль часу прибуття трамвая на перехрестя.

У третьому розділі запропоновано теоретичну модель і проведено експериментальне дослідження мультиагентної системи глибинного навчання з підкріпленням для світлофорного регулювання, сформульованої як децентралізований частково спостережуваний марковський процес вирішування.

У четвертому розділі проведено наведено порівняльний аналіз і синтез двох розроблених підходів до керування. Сформульовано єдину ієрархічну

модель керування і розроблено відповідну інформаційну технологію, в якій обидва підходи розкладають задачу керування перехрестям на дві взаємопов'язані підзадачі: черговість сигнальних груп і оптимізацію тривалості сигналів.

Загальні висновки і висновки до кожного з розділів є узгодженим з поставленими завданнями і доводять досягнення мети дослідження. Бібліографічний список містить переважно сучасні публікації, що відображають актуальний стан питань за розглянутими напрямками досліджень.

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

Дисертаційна робота виконувалася в період з 2022 р. до 2026 р. відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерного моделювання та інтелектуальних технологій (КМІТ) Харківського національного університету радіоелектроніки.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечені коректністю застосування перевіреного апарату теорії множин, методів математичного моделювання, нечіткої логіки, баєсового навчання з підкріпленням, а також реалізацією інформаційної технології з використанням сучасного засобу моделювання міської мобільності (SUMO). Оцінювання ефективності керування здійснюється на основі використання множини критеріїв, серед яких середня затримка на транспортний засіб і на особу, відповідність між середньою тривалістю обслуговування й

інтенсивністю потоків, середня швидкість і кількість зупинок громадського транспорту. Достовірність отриманих результатів підтверджується експериментальною перевіркою розроблених моделей на наближених до реальних синтетичних сценаріях інтенсивного транспортного руху. Основні положення дисертації пройшли апробацію на міжнародних наукових конференціях.

Зважаючи на вищевикладене, наукові положення, висновки та рекомендації, що 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 НБД 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 прогнозного 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 вдосконалена модель керування транспортними потоками забезпечує вищу ефективність використання просторових ресурсів світлофорних перехресть з мультимодальними транспортними потоками, і може бути використана як складова для наявних інтелектуальних систем керування транспортом. Чутливість до різних джерел невизначеності запропонованої мультиагентної моделі прийняття рішень дозволяє застосовувати її для надійної координації у транспортній і суміжних галузях, що мають властивості невизначеності щодо поточного стану системи та наслідків прийняття рішень, яка зумовлена затримкою сигналу зворотного зв'язку.

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 освітньо-наукової програми «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.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

1. У роботі не розглянуте питання впливу вибору конкретної форми функцій належності антецедентів і методів зведення до чіткості, що використовуються при побудові моделі інтелектуального світлофорного керування (розділ 2), на показники ефективності отримуваних стратегій керування.

2. Опис розробленої автором інформаційної технології підвищення ефективності керування транспортними потоками світлофорного перехрестя (розділ 3) надано дуже стисло, що дещо знижує можливість надання об'єктивної оцінки її практичного застосування.

3. У підрозділі 3.1.3 не достатньо уваги приділено питанню обґрунтування вибору і структури функції винагороди як складової частини процесу прийняття рішень.

4. У роботі розглянуто обмежену кількість варіантів сценаріїв моделювання керування транспортними потоками світлофорного перехрестя, що не дає змогу об'єктивно оцінити ефективність та працездатність запропонованих в роботі моделей при їх використанні для різних типів перехресть.

5. Було б доцільно дещо скоротити перший розділ дисертації для більш докладного викладення теоретичних і експериментальних результатів дослідження в наступних розділах, що сприяло б більш цілісному сприйняттю матеріалу.

Наведені зауваження мають дискусійний характер і не позначаються на позитивній оцінці дисертаційного дослідження та не зменшують відзначеної вище практичної цінності отриманих в ньому 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 актуальне науково-прикладне 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,
завідувач кафедри інформаційних управляючих систем
Харківського національного університету
радіоелектроніки



Костянтин ПЕТРОВ