

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента, завідувача кафедри інформаційних управляючих систем та технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова МИХЕЛЄВА Ігоря Леонідовича
на дисертаційну роботу БУРЕНКА Володимира Олександровича
на тему: «Математичні моделі для обробки інформації в комп'ютерних системах енергонезалежних інформаційно-вимірювальних мереж»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертації. Забезпечення ефективного використання ресурсів сучасного «розумного міста», неперервності функціонування та стійкості інформаційно-вимірювальних мереж (ІВМ) у складі комп'ютерних систем (КС), робота яких здійснюється в умовах інтенсивних змін станів, нестаціонарних навантажень та можливих деструктивних впливів, є однією з актуальних науково-прикладних задач сьогодення. Науковцями у світі та в Україні активно ведуться дослідження, спрямовані на розроблення методів адаптивного планування задач підсистем КС «розумного міста» (зокрема, підсистеми міського пасажирського транспорту – МПТ), підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів, забезпечення відмовостійкості в умовах обмеженого енергопостачання. Кінцевою метою цих досліджень є забезпечення стабільної, передбачуваної та безпечної роботи систем реального часу, що функціонують в умовах невизначеності та неповних даних.

Проте, незважаючи на значні досягнення сучасної науки, існуючі ІВМ КС здебільшого не забезпечують достатнього рівня адаптивності до багатовимірної динаміки навантаження. Це призводить до неефективного використання ресурсів, зростання затримок у виконанні задач, а також до підвищення ризику виникнення критичних станів або перенавантаженості систем, особливо в умовах інтенсивних змін та впливу зовнішніх збурень. Тому пошук нових підходів до підвищення ефективності та надійності КС «розумного міста» не припиняється.

У дисертаційній роботі запропоновано комплексний підхід до вирішення цієї задачі, що базується на інтеграції ІоТ-пристроїв та хостів ІВМ (ІР-камери системи відеоспостереження) у транспортну підсистему SmartCity, що забезпечує енергоефективне вирішення локальних задач управління пасажиропотоком.

Усе вищезазначене зумовлює актуальність теми дисертаційної роботи Буренка В.О., яка присвячена розв'язанню важливої науково-прикладної задачі

розробки математичних моделей та розвитку методів інформаційно-комп'ютерної технології (ІКТ) оптимізації підсистеми МПТ у складі системи «розумного міста» для підтримки цифрової економіки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі управління проектами Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв). Результати дисертаційної роботи використано в держбюджетних науково-дослідних роботах № державної реєстрації 0118U000193 та № 0117U007144 за фінансуванням Міністерства освіти та науки України (додаток А.1), у яких здобувач брав безпосередню участь як виконавець.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни. Наукова новизна одержаних у дисертації результатів полягає в наступному:

1) **вперше розроблена** математична модель оброблення RGB-гістограм зображень з ІР-камер КС «розумне місто», яка на відміну від існуючих моделей обробки зображень забезпечує визначення рівня наповненості зупинок МПТ пасажирями на основі запропонованих інтегрального та нормованого індексів наповненості кадрів, що дозволяє оптимізувати у реальному часі систему подачі МПТ без ідентифікації об'єктів та розпізнавання облич із залученням складних нейромережових алгоритмів, в умовах обмежених обчислювальних ресурсів обладнання КС «розумне місто» та у складних умовах енергопостачання;

2) **вперше розроблена** математична модель управління невизначеностями у системі підтримки прийняття рішень щодо вибору ТЗ для подачі на завантажені пасажирями зупинки міського транспорту, за рахунок розщеплення критеріїв моделі BOCR на низку підкритеріїв з урахуванням особливостей побудови та функціонування підсистеми МПТ у складі КС «розумне місто», що дозволяє полегшити побудову трудомістких експертних рішень для великомасштабних інформаційно-вимірювальних мереж КС «розумне місто»;

3) **набув подальшого розвитку:** метод аналізу ієрархій шляхом урахування переваг моделі BOCR у процесі синтезу групових рішень, представлених у шкалах об'єктів нечислового характеру для розв'язання задачі вибору транспортних засобів при логістичному забезпеченні міських пасажироперевезень, що дозволяє коректно працювати з експертними свідцтвами, сформованими в умовах багатокритеріальності та складних форм невизначеності;

4) **удосконалено** математичну модель оптимізованого енергоспоживання у локальних пунктах оброблення зображень експертами перевізників засобами

IoT-пристроїв шляхом розподілу виконуваних процесором IoT-пристрою обчислень у розрізі ядер, що дозволяє зменшити коефіцієнт завантаженості процесора та збільшити час енергонезалежності хостів IBM KС «розумне місто».

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертаційній роботі Буренка В.О., є достатньо обґрунтованими завдяки коректному застосуванню математичного апарату, а також підтверджуються програмною реалізацією та результатами експериментальних досліджень, що засвідчують узгодженість теоретичних положень з практичними результатами. Для розв'язання поставленої науково-прикладної задачі використано методи прямого підрахунку об'єктів, методи щільнісної оцінки та непрямі статистичні методи для оцінювання наповненості зупинок МПТ; методи експертного оцінювання для порівняння параметрів транспортних засобів (ТЗ) при оптимізації рішень щодо вибору моделі ТЗ, який доцільно виводити на певний маршрут; методи нечіткої логіки для прийняття рішень щодо подачі ТЗ на зупинки на підставі визначення основних факторів, що мають найбільший вплив.

Достатня обґрунтованість наукових положень і висновків дисертаційної роботи забезпечується ґрунтовним аналізом сучасних наукових джерел за тематикою дослідження, чіткою постановкою завдань, застосуванням сучасних методів дослідження, коректним використанням математичного апарату при формалізації моделей і методів, а також послідовним і аргументованим викладенням отриманих результатів.

Підтвердження достовірності та обґрунтованості запропонованих методів і засобів забезпечується результатами їх експериментального дослідження під час багатокритеріального моніторингу пасажиропотоку МПТ м. Миколаєва у режимі реального часу (для маршрутів № 16 та № 56), а також відповідністю отриманих результатів теоретичним оцінкам і визначеним показникам ефективності.

Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки та рекомендації є послідовним результатом проведеного дослідження, виконаного на основі формалізованих моделей і експериментальних даних. Отримані в роботі висновки та практичні результати слід вважати достатньо обґрунтованими, достовірними та коректними.

Таким чином, поставлене в дисертації наукове завдання повністю розв'язано, а здобувач продемонстрував належний рівень володіння методологією наукових досліджень.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності. Зміст дисертаційної роботи здобувача Буренка В.О. повною мірою відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122

Комп'ютерні науки для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти та Освітньо-науковій програмі (ОНП) Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова «Комп'ютерні науки» за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки. Робота є завершеним науковим дослідженням і підтверджує вагомий особистий внесок здобувача у розвиток наукового напрямку інформаційних технологій. При написанні роботи здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності.

Практичне значення одержаних результатів. Результатом дисертаційної роботи є розроблена комплексна інформаційно-комп'ютерна технологія (ІКТ), яка поєднує процес оброблення RGB-гістограм зображень з IP-камер КС «розумне місто», багатофакторний аналіз вибору ТЗ для подачі на визначені зупинки, підтримку прийняття рішень підгрупами експертів на основі узгодженості оціночних суджень та візуалізацію актуальної інформації про наповненість зупинок міського транспорту на вебінтерфейсі. Застосування розроблених програмних засобів та моделей створює передумови для результативного моніторингу й аналітичного опрацювання у реальному часі даних, що надходять з транспортних зупинок МПТ. Запропоновані математичні моделі та удосконалені методи опрацювання інформації з КС «розумного міста» надають можливість гнучкого коригування розкладів руху та перерозподілу транспортних ресурсів відповідно до реальних умов експлуатації, що має суттєве значення для підвищення рівня якості транспортного обслуговування населення.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в поточну роботу Сервісного центру компанії ТОВ «С&NT», в діяльність КП «Міський інформаційно-обчислювальний центр» Миколаївської міської ради, а також в навчальний процес Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв) для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки ОПП «Комп'ютерні науки» у рамках дисципліни ОКЗ 2 «Математичне моделювання систем і процесів та методи оптимізації» та за ОПП «Управління проєктами» у рамках дисципліни ОК 8 «Методи та моделі прийняття рішень в управлінні проєктами», про що оформлені відповідні акти впровадження, наведені у додатку А до дисертації.

Мова, обсяг та оформлення результатів. Дисертаційну роботу викладено українською мовою. Текст дисертації вирізняється логічністю, доступністю та високим технічним рівнем викладу із використанням сучасної наукової термінології. Матеріал подано послідовно й зрозуміло для сприйняття. Мовностилістичне оформлення роботи відповідає вимогам до науково-технічних текстів.

Дисертація складається з переліку скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та шести додатків. Обсяг основного вмісту роботи становить 154 сторінки друкованого тексту (без додатків). Дисертація належно проілюстрована 35 таблицями та 35 рисунками, а в її тексті використано загальноприйнятту термінологію.

Оформлення дисертаційної роботи виконано відповідно до вимог Наказу МОН України від 12.01.2017 № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» з урахуванням змін, внесених наказом МОНУ від 31.05.2019 № 759.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи. Основні наукові результати дисертації опубліковані у 4 статтях у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України (категорії Б.). Робота пройшла апробацію на 1 міжнародній конференції, тези якої проіндексовано в наукометричній базі Scopus, та на 7 міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях. Два свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму) та один патент на корисну модель додатково відображають наукові результати дисертації.

У підсумку, основні наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, у повному обсязі відображені в публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

1. У математичних моделях другого розділу не наведено граничних умов переходу вимірювального вузла в глибокий режим енергозбереження (DeepSleep) у випадку, якщо індекс SFI тривалий час залишається незмінним (наприклад, у нічні години, коли пасажиропотік відсутній).

3. В експериментальній частині (Розділ 4) наведено графіки монотонного зростання інтегрального індексу SFI залежно від кількості людей. Доцільно було б представити точні чисельні значення стандартного відхилення (похибки) методу для різних типів погодних умов (дощ, туман, снігопад), які фіксувалися камерами в м. Миколаєві.

3. У четвертому розділі описано використання вебінтерфейсу для візуалізації наповненості зупинок транспортної мережі Миколаєва. Слід було вказати, яку максимальна кількість одночасних запитів від клієнтських застосунків здатна витримати розроблена архітектура системи без втрати оперативності відображення даних.

4. Розроблена інформаційно-комунікаційна технологія передбачає використання хмарної NoSQL бази даних Firestore для збереження результатів розрахунку індексу SFI. Автор зазначає, що технологія працює в реальному часі, однак у розділі відсутній аналіз впливу можливих мережевих затримок

(networklatency) при синхронізації хмари з клієнтськими вебінтерфейсами диспетчерів, особливо в умовах нестабільного мобільного зв'язку 4G/LTE, який часто використовується для віддалених хостів у м. Миколаєві.

Наведені зауваження не мають принципового характеру, не впливають суттєво на зміст дисертаційної роботи та не зменшують її наукову і практичну значущість.

Висновок про дисертаційну роботу. Вважаю, що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії дисертаційна робота Буренка Володимира Олександровича на тему «Математичні моделі для обробки інформації в комп'ютерних системах енергонезалежних інформаційно-вимірювальних мереж», виконана на високому науковому рівні, відповідає принципам академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, у якому сукупність отриманих теоретичних і практичних результатів забезпечує розв'язання поставленого наукового завдання. За актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю дисертація відповідає вимогам пп. 6-9 «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 р. № 44, з урахуванням змін, внесених постановами Кабінету Міністрів України від 21.03.2022 № 341, від 19.05.2023 № 502 та від 03.05.2024 № 507.

Здобувач Буренко Володимир Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Рецензент

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інформаційних
управляючих систем та технологій
Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова

Ігор МИХЕЛЄВ