

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем Національного авіаційного університету

Конаховича Георгія Филімоновича на дисертацію **Закутинського Ігоря Володимировича** «Система Інтернету речей для моніторингу та управління громадським транспортом», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Актуальність теми дисертаційної роботи.

За даними Департаменту економіки та соціальних справ ООН у 2020 році 56% населення світу проживало в міських районах, і ця кількість зростає щорічно. Зростання населення міських регіонів призводить до збільшення кількості транспортних засобів на дорогах, що в свою чергу призводить до загострення транспортних проблем, зокрема до заторів, затрат на паливо і викидів шкідливих речовин в атмосферу, що має негативний вплив на якість життя і здоров'я мешканців міста. Незалежно від розміру регіону, оптимізація роботи системи громадського транспорту є важливою задачею, яка визначає ефективність роботи транспортної системи та міста в цілому. У цьому контексті концепція Інтернету речей (IoT) стає однією з найбільш перспективних технологій для розробки нових та вдосконалення вже існуючих систем громадського транспорту. IoT передбачає створення інтелектуальної мережі, в якій різні об'єкти транспортної інфраструктури можуть обмінюватися даними та взаємодіяти з операторами та пасажирями в режимі реального часу. Це в свою чергу надає можливості для моніторингу та аналізу даних, а отже і можливості для створення більш безпечних, ефективних та зручних систем громадського транспорту.

Тому розробка інтелектуальних систем громадського транспорту, а також наукове обґрунтування методів їх побудови є актуальною темою дослідження.

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

Тема дисертаційної роботи відповідає Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р., № 430-р). Крім того, тематика дисертаційного дослідження безпосередньо пов'язана з рішенням науково-технічних завдань, які відповідають положенням Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (стаття 3, п.2) від 11 липня 2001; Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» (стаття 4, п.2 і п.7) від 5 грудня 2012; «Концепції розвитку телекомунікацій в Україні» затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 316-р від 7 червня 2006.

Наукова новизна та практична цінність результатів, отриманих у дисертаційній роботі.

У результаті проведеного дисертаційного дослідження отримано такі нові наукові результати:

Вперше

- запропоновано метод балансування навантаження в розподілених системах Інтернету речей, який на відмінну від існуючих виконує балансування навантаження в мережі на основі багатокритеріального моніторингу стану активних обчислювальних контейнерів, дозволяє підвищити ефективність балансування навантаження на 40% - 65%.;

- запропоновано метод визначення оптимальної кількості обчислювальних ресурсів, на основі розробленої математичної моделі, яка на відмінну від існуючих враховує динамічне навантаження, що генерується IoT пристроєм та дозволяє покращити ефективність серверних обчислень при нерівномірному навантаженні;

- розроблено математичну модель для моделювання підсистеми збереження та обробки даних у системах Інтернету речей. Розроблена математична модель дозволяє оцінити вплив архітектури та конфігурації

компонентів підсистеми на її пропускну здатність, а також оцінити загальну ефективність системи на основі функцій розподілу швидкості обробки даних;

Отримав подальший розвиток

- метод прогнозування часових рядів за рахунок попередньої обробки вхідних даних телекомунікаційної мережі за запропонованим алгоритмом на основі LSTM архітектури для прогнозування пасажиропотоку міського транспорту і виявлення аномалій, а також метод рекурентних нейронних мереж для оцінки ризиків виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП).

Практично вагомими вважаються такі результати:

- запропоновано методику визначення оптимальної технології передачі даних в телекомунікаційній IoT мережі, який полягає в проведенні комплексу експериментальних досліджень передачі даних між пристроєм Інтернету речей та обчислювальним сервером. На основі якого, проведено дослідження NB-IoT стандарту для побудови телекомунікаційної мережі в інтелектуальних транспортних системах. Дослідження дозволили оцінити переваги та недоліки даного стандарту в порівнянні з класичним LTE з'єднанням в міських умовах;

- розроблено програмний комплекс для дослідження впливу протоколів програмного рівня на швидкість передачі та пропускну здатність в мережі системи Інтернету речей;

- розроблено програмний продукт згідно математичної моделі процесу функціонування IoT мережі, який дає можливість оцінити можливе навантаження, та правильно спроектувати серверну архітектуру та конфігурацію системи;

- розроблено алгоритм автоматичного розгортання розподіленої архітектури IoT мережі для інтелектуальної системи міського транспорту;

- розроблено алгоритм оцінки продуктивності системи із застосуванням програмних емуляторів IoT пристроїв. Виконано програмну реалізацію емуляторів, а також середовища для проведення тестування, на основі запропонованої моделі;

- запропоновано алгоритм автоматичного формування вхідних даних для навчання нейронних мереж на основі телеметрії IoT пристроїв. Виконано програмну реалізацію алгоритму, а також на основі сформованих даних виконано навчання моделей нейронних мереж.

Ступінь обґрунтованості й достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертаційному дослідженні.

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи Закутинського Ігоря Володимировича підтверджується результатами аналізу сучасних літературних джерел, чітким формулюванням мети, основних завдань досліджень та шляхів їх реалізації. Достовірність наукових положень дисертації базується на коректному використанні сучасних методів математичного моделювання, теорії інформаційних систем, теорії нейронних мереж, а також рядом проведених практичних експериментів.

Висновки та рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, у повній мірі враховують наукову та прикладну сутність поставлених здобувачем завдань, та є придатними для практичного використання.

Характеристика основних положень роботи.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків і містить 84 рисунки, 26 таблиць, 15 сторінок додатків. Список використаних джерел складає 108 найменувань і займає 16 сторінок. Загальний обсяг роботи складає 184 сторінки.

У вступі визначено актуальність теми досліджень, зв'язок з науковими програмами та темами, сформульовано мету роботи та задачі досліджень, визначено об'єкт та предмет дослідження, визначено методи досліджень, наведено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено відомості про апробацію та публікацію результатів дисертації.

В першому розділі проведено аналіз поточного стану розвитку інтелектуальних систем для моніторингу та управління громадським транспортом. Також проведено аналіз наукових методів побудови систем

Інтернету речей в цілому, а також в контексті їх застосування для розробки інтелектуальних систем громадського транспорту. На основі проведеного аналізу виділено основні тренди наукових досліджень, а також ряд невирішених проблем та напрямків які потребують розробки нових рішень, або вдосконалення вже існуючих. Крім того, розроблено методику проведення дослідження, в якій сформульований алгоритм виконання науково-технічних задач дослідження.

В другому розділі розроблено структуру телекомунікаційної мережі, яка забезпечує передачу даних в режимі реального часу. Обґрунтування запропонованої структури проводиться на основі проведених науково - практичних експериментів. Зокрема, для дослідження бездротових технологій передачі даних LTE та NB-IoT проводиться експеримент в міських умовах, де визначається вплив рівня сигналу на параметри передачі даних та енергоспоживання системи. Для дослідження протоколів програмного рівня розроблено середовище тестування, в якому симулюються різні сценарії поведінки IoT мережі. Для оцінки впливу архітектури системи, а також конфігурації її окремих компонентів, на пропускну здатність та загальну продуктивність, розроблено математичну модель з метою моделювання функціонування IoT системи на основі розподіленої архітектури.

У третьому розділі дослідження проводиться розробка системи збереження та обробки даних. На першому етапі сформульовано основні завдання даної системи, а також побудовано її функціональну схему та архітектуру. На наступному етапі розглядалися завдання забезпечення надійності, масштабованості системи, а також оптимального використання обчислювальних ресурсів. Для розв'язання вищенаведених завдань розроблено та апробовано ряд методів та алгоритмів. А саме: метод визначення оптимальної кількості обчислювальних контейнерів в розподілених системах Інтернету речей, метод балансування навантаження в розподілених IoT системах на основі багатопараметричного моніторингу. Також, в даному розділі розглянуто можливість застосування нейронних мереж для обробки даних телекомунікаційної мережі в рамках запропонованої системи збереження та

обробки даних. На основі розробленого алгоритму формування даних телекомунікаційної мережі для навчання нейронних мереж, запропоновано моделі для прогнозування пасажиропотоку та визначення ймовірності виникнення ДТП.

Четвертий розділ присвячений реалізації інтелектуальної системи громадського транспорту на основі запропонованих автором методів. Крім того, розроблено алгоритм процесу розгортання програмного забезпечення на серверах. Проаналізовано та обґрунтовано відповідність розробленої системи основним стандартам захисту інформації. З метою оцінки ефективності розробленої системи запропоновано методика тестування по ключових характеристиках робастності. Дана методика може служити для порівняння систем. Результати оцінки свідчать про переваги запропонованої IoT системи у порівнянні з аналогами.

У висновках подані основні результати дисертаційної роботи, підкреслено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів для проектування та розробки IoT систем, зокрема Інтелектуальних транспортних систем на основі проведених експериментальних досліджень та розроблених методів.

У додатках містяться документи які підтверджують впровадження результатів дисертаційної роботи, а також допоміжні матеріали дослідження, такі як програмний код та алгоритми.

Таким чином, зміст дисертаційного дослідження відповідає її назві. Структура дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження вимогам. Усі положення, які винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації та відповідають освітнім компонентам освітньо-наукової програми «Телекомунікації та радіотехніка» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій сформульованих у дисертаційному дослідженні та опублікованих працях.

Основні результати опубліковані в 12 наукових працях. Зокрема 7 статей в періодичних наукових виданнях, 3 з яких проіндексовані міжнародними наукометричними базами даних (Scopus). 2 наукові роботи написані дисертантом особисто, інші – у співавторстві. Також отримані результати були представлені в 5-ти публікаціях у матеріалах міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій.

Мова та стиль дисертації відповідають вимогам стандартів оформлення науково-дослідних робіт. Публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації.

Зауваження та недоліки дисертаційної роботи.

1. Для визначення оптимальної бездротової технології передачі даних, автор розглядає LTE, як базову технологію, а також розширення NB-IoT. На мою думку, необхідно було б розглянути та провести аналогічні експерименти для інших наявних розширень LTE для систем Інтернету речей, таких як LTE-M та EC-GSM-IoT.

2. У проведеному експерименті визначення оптимальної бездротової технології передачі даних (стор. 60 - 67) недостатньо висвітлені механізми синхронізації переданих/втрачених даних, а також співвідношення сигнал/шум.

3. У розділі 4 на стор. 93 - 94 автор пропонує математичну модель для визначення коефіцієнту рівномірності розподілу навантаження, на основі якої проводяться подальші експерименти. Проте для даної моделі не вказані граничні значення, а також значення «ідеальних умов», що ускладнює розуміння результатів експерименту.

4. В алгоритмі балансування (стор. 93), а також в математичній моделі методу розподілу навантаження (стор. 94), використовується чотири змінні завантаженості системи (CPU, RAM, DISK, NETWORK), проте в результатах проведеного експерименту (стор. 99-103) наведені результати тільки для трьох.

Вищенаведені зауваження не носять принципового характеру та не знижують позитивного враження про наукову та практичну цінність дисертаційної роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Закутинського Ігоря Володимировича «Система Інтернету речей для моніторингу та управління громадським транспортом» є завершеним науковим дослідженням, виконаним здобувачем самостійно, що характеризується єдністю змісту та містить нові наукові положення і обґрунтовані теоретичні результати, які підтверджено експериментально та відповідними актами впровадження. Тема дисертації та її зміст відповідають положенням паспорту спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Усі результати, що виносяться на захист є достовірними та отримані автором особисто. Робота відповідає принципам академічної доброчесності. Наявність академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації не виявлено. За актуальністю обраної теми, рівнем виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності, а також новизною й науковою обґрунтованістю представлених результатів дослідження, розглянута дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 3 квітня 2019 року № 283), вимогам пп. 6,7,8,7 «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор, Закутинський Ігор Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Рецензент

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри телекомунікаційних
та радіоелектронних систем

Національного авіаційного університету

Георгій КОНАХОВИЧ

Боректор з кафедри роботи
А. Поф...

