

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Центральноукраїнського національного технічного університету

Смірнова Олексія Анатолійовича

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.

Громадський транспорт є важливим елементом сучасної транспортної системи будь-якого успішного міста світу. Зростаючі тренди урбанізації породжують нові виклики та завдання з підвищення екологічної та економічної ефективності міських регіонів. На стику зростаючої кількості населення міських регіонів, а також стрімкого розвитку ІТ технологій виникла концепція Інтелектуальних систем громадського транспорту. В основі цієї концепції є оптимізація роботи існуючої системи громадського транспорту, без її фізичного розширення. Ключовою складовою інфраструктури розумного транспорту є мережа підключених пристроїв, яка забезпечує передачу даних між її компонентами в режимі реального часу. Сьогодні, однією з найбільш перспективних технологій для реалізації такої мережі є Інтернет речей (IoT). Ця технологія дозволяє збирати та аналізувати великі об'єми даних в режимі реального часу. Зібрані дані можуть бути використані для оптимізації маршрутів, підвищення рівня безпеки транспорту, зниження вартості перевезень, а також зниженню середнього часу проведеного в дорозі.

Отже розробка Інтелектуальних систем громадського транспорту, а також обґрунтування методів їх побудови є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

Актуальність дисертаційного дослідження також підтверджується тим, що вона відповідає Національним планам та стратегіям у сфері транспорту та інноваційної діяльності. А саме:

- Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р., № 430-р). ;
- Положенням Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (стаття 3, п.2) від 11 липня 2001 р.; Закону України «Про пріоритетні напрями

інноваційної діяльності в Україні» (стаття 4, п.2 і п.7) від 5 грудня 2012 р.;

– «Концепції розвитку телекомунікацій в Україні», затвердженій розпорядженням Кабінету Міністрів України № 316-р від 7 червня 2006 р..

Тема дисертаційного дослідження відповідає компонентам освітньо-наукової програми «Телекомунікації та радіотехніка» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Наукова новизна.

Наукова новизна роботи обумовлена, перш за все, тим, що вирішено ряд науково-практичних задач, щодо побудови, та підвищення ефективності роботи Інтелектуальних систем громадського транспорту на основі концепції Інтернету речей.

Найбільш вагомими результатами, отриманими в дисертації, є наступні:

- Вперше запропоновано метод балансування навантаження в розподілених системах Інтернету речей на основі багатокритеріального моніторингу стану активних обчислювальних контейнерів, дозволяє підвищити його ефективність на 40% – 65%;
- Вперше розроблено математичну модель для врахування динамічного навантаження, що дозволило визначити оптимальну кількість обчислювальних ресурсів при нерівномірному навантаженні;
- Вперше розроблено математичну модель для моделювання підсистеми збереження та обробки даних у системах Інтернету речей, що дозволило оцінити вплив архітектури та конфігурації компонентів підсистеми на її пропускну здатність та оцінити загальну ефективність системи.
- Отримав подальший розвиток метод прогнозування часових рядів за рахунок попередньої обробки вхідних даних телекомунікаційної мережі та метод рекурентних нейронних мереж для оцінки ризиків виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП).

Практична значущість дослідження.

Практично вагомими вважаються такі результати:

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

- 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;
- 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 наукових положень, висновків та рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі відповідають вимогам до такого роду дослідженням. Високий рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій та їхня достовірність забезпечені:

- правильно сформульованими завданнями, а також методологією проведення дослідження;
- професійним вирішенням автором ряду науково – практичних завдань з застосуванням методів математичного моделювання, а також апарату нейронних мереж;
- великою кількістю проведених науково-практичних експериментів;
- використанням широкої джерельної бази за темою дисертації та достатнім масивом аналітичних даних.

Характеристика основних положень роботи

Структура та обсяг дисертації зумовлена метою та методологією проведення дослідження та складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

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. Автором проведено аналіз наукових методів побудови систем Інтернету речей загалом,

а також в контексті їх застосування для розробки інтелектуальних систем громадського транспорту. На основі цього аналізу виділено основні тренди наукових досліджень та ряд невирішених проблем і напрямків, які потребують розробки нових рішень або вдосконалення вже існуючих.

У другому розділі розроблено структуру телекомунікаційної мережі, яка забезпечує передачу даних у режимі реального часу. Обґрунтування запропонованої структури проводиться на основі проведених 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 та конфігурації її окремих компонентів на пропускну здатність та загальну продуктивність було розроблено математичну модель, яка дозволила виконати моделювання функціонування IoT системи на основі розподіленої архітектури.

У третьому розділі дослідження проводиться розробка системи збереження та обробки даних. Спочатку було сформульовано основні завдання цієї системи та побудовано її функціональну схему й архітектуру. Далі розглядалися завдання забезпечення надійності, масштабованості системи та оптимального використання обчислювальних ресурсів. Для розв'язання вищенаведених завдань розроблено та апробовано ряд методів та алгоритмів, серед яких: 1) метод визначення оптимальної кількості обчислювальних контейнерів в розподілених системах Інтернету речей; 2) метод балансування навантаження в розподілених IoT системах на основі багатопараметричного моніторингу. Автор також розглядає можливість застосування нейронних мереж для обробки даних телекомунікаційної мережі 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 методику тестування по ключових характеристиках робастності. Ця методика може служити для порівняння систем. Результати оцінки свідчать про переваги запропонованої IoT системи у порівнянні з аналогами.

Висновки містять основні наукові результати дисертаційної роботи, які засвідчують вирішення сформульованого комплексу науково-технічних завдань у повному обсязі.

У додатках містяться акти впровадження результатів дисертаційної роботи та програмні коди.

Повнота викладення матеріалів дисертації у роботах, які опубліковані автором.

Основні положення дисертаційного дослідження опубліковано в 13 наукових працях. Серед яких 4 публікації у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних (Scopus); 4 публікації у наукових фахових виданнях України; 5 публікацій в збірних науково-практичних конференцій.

Мова та стиль дисертації відповідають вимогам стандартів оформлення науково-дослідних робіт. Зміст дисертації об'єктивно відображає основні результати роботи.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

1. В розділі 3 при аналізі існуючих методів та алгоритмів автор аналізує метод на основі теорії масового обслуговування. Але в роботі розглянуто лише окремий випадок (з 1 обслуговуючим каналом). Було б непогано провести аналіз, і для інших конфігурацій.

2. Автор використовує різні терміни для одного і того ж поняття – міжсерверна, та мікросервісна комунікація.

3. В роботі не достатньо обґрунтовано застосування саме Narrow Band розширення LTE протоколу в контексті досліджуваної системи.


Висновок

Не зважаючи на зазначені недоліки, дисертаційна робота Закутинського Ігоря Володимировича на тему «Система Інтернету речей для моніторингу та управління громадським транспортом» є завершеною науковою працею, що характеризується чіткістю змісту, містить науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення. Дисертація відповідає освітнім компонентам освітньо-наукової програми «Телекомунікації та радіотехніка» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» та 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 та 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її, автор **Закутинський Ігор Володимирович**, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Офіційний опонент

завідувач кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення
Центральноукраїнського національного технічного університету
доктор технічних наук, професор,



Олексій СМІРНОВ

26.10.2023

Підпис Олексія Смирнова засвідчує:

світлокопія  *С. Смирнов*

