

Голові разової спеціалізованої
вченої ради
Державного університету
інформаційно-комунікаційних
технологій
доктору технічних наук, професору
Нестеренко Катерині Сергіївні
03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7

ВІДГУК

офіційного опонента – доктора технічних наук, професора, професора кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Федорової Наталії Володимирівни на дисертаційну роботу Бученка Ігоря Анатолійовича на тему:

«Модель та метод адаптивного управління периферійними комп'ютерними мережами на основі теорії ігор», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Актуальність теми дисертації.

Сучасний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій характеризується стрімким зростанням кількості пристроїв Інтернету речей, розвитком кіберфізичних систем, технологій розумних міст, автономного транспорту та мереж зв'язку нового покоління 5G/6G. Такі системи генерують значні обсяги даних, які потребують оперативного оброблення та прийняття рішень у режимі реального часу. Традиційні централізовані хмарні архітектури дедалі частіше стикаються з проблемами надмірних затримок, перевантаження магістральних каналів зв'язку та високого енергоспоживання.

У зв'язку з цим особливого значення набуває концепція периферійних обчислень (Edge Computing), яка передбачає наближення обчислювальних ресурсів до джерел генерації даних. Водночас ефективне управління ресурсами периферійних мереж ускладнюється гетерогенністю вузлів, динамічністю навантаження та конфліктом інтересів між автономними агентами мережі.

Одним із найбільш перспективних напрямів розв'язання цієї проблеми є застосування математичного апарату теорії ігор та методів багатоагентного навчання з підкріпленням, що дозволяють реалізувати децентралізоване адаптивне управління ресурсами мережі.

З огляду на зазначене тема дисертаційної роботи Бученка І.А. є актуальною, своєчасною та має важливе наукове і практичне значення для розвитку сучасної комп'ютерної інженерії.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими та достовірними.

Для досягнення поставленої мети автором використано методи теорії ігор, математичного моделювання, математичного програмування, теорії графів, теорії масового обслуговування, теорії управління, імітаційного моделювання та багатоагентного навчання з підкріпленням.

Достовірність отриманих результатів підтверджується аналітичними дослідженнями, математичними доведеннями існування рівноважних станів системи, результатами імітаційного моделювання та порівнянням із традиційними підходами до управління мережевими ресурсами.

Результати дослідження логічно пов'язані між собою, а сформульовані висновки повністю відповідають поставленим завданням.

Оцінка новизни наукових результатів дисертаційного дослідження.

У дисертаційній роботі одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше розроблено метод адаптивного децентралізованого управління просторово-розподіленими ресурсами периферійної комп'ютерної мережі, який за рахунок синтезу апарату теорії ігор із багато агентним алгоритмом глибокого навчання зіпідкріпленням типу MADDPG, застосування архітектурної парадигми «централізоване навчання – децентралізоване виконання» (CTDE), використання локальних спостережень вузлів для прийняття рішень щодо міграції завдань (TaskOffloading) та апроксимації багатокритеріальної функції оптимізації у вигляді потенціальної гри, дозволило забезпечити високоточну адаптивну оптимізацію розподілу обчислювальних ресурсів у режимі реального часу, суттєво знизити обсяг службового сигнального трафіку та забезпечити швидку збіжність системи до стійкого оптимуму.

2. Вперше запропоновано багатокритеріальну ієрархічну модель адаптивного управління ресурсами периферійної мережі, яка за рахунок використання динамічної гри Штакельберга для вертикального балансування навантаження між IoT-пристроями та Edge-серверами, застосування кооперативної коаліційної гри з використанням вектора Шеплі для горизонтального співробітництва між серверами, формування інтегрального критерію ефективності з урахуванням енергоспоживання, затримок передавання та завантаження каналів зв'язку, дозволило здійснювати контекстно-залежну адаптацію периферійної мережевої інфраструктури, усунути локальну монополізацію радіочастотного спектра та забезпечити досягнення глобальної стабільної рівноваги Неша.

3. Удосконалено математичну модель функції корисності автономного обчислювального вузла периферійної комп'ютерної мережі, яка за рахунок формування інтегрального критерію витрат, що поєднує стохастичну динаміку енергоспоживання процесорних структур із застосуванням технології динамічного масштабування частоти та напруги (DVFS), параметри системних затримок у буферних чергах і бездротових каналах передавання даних,

введення вагових коефіцієнтів для балансування пріоритетів між енергозбереженням та швидкістю обробки, а також доведення строгої увігнутості цільової функції, дозволило здійснювати комплексну багатокритеріальну оцінку ефективності вузлів, уникнути парадоксів некооперативної поведінки та забезпечити суттєве зниження енергоспоживання мобільних пристроїв і скорочення середньої системної затримки.

Отримані результати є науково обґрунтованими, новими та мають важливе значення для розвитку теорії управління комп'ютерними мережами.

Практична цінність отриманих результатів.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у створенні моделі та методу адаптивного децентралізованого управління периферійними комп'ютерними мережами, які доведено до рівня практичного використання у вигляді спеціалізованого програмного середовища імітаційного моделювання.

Результати проведених експериментальних досліджень показали, що застосування запропонованих рішень дозволяє:

- зменшити середню системну затримку на 68,5 %;
- скоротити сукупне енергоспоживання кінцевих IoT-пристроїв на 67 %;
- підвищити ефективність балансування навантаження між вузлами мережі;
- забезпечити високу адаптивність системи до зміни умов функціонування.

Результати можуть бути використані під час побудови систем критичної інфраструктури, розумних електромереж (Smart Grid), автономних транспортних систем, промислових мереж 5G/6G та інших сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем.

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

Дисертаційна робота виконана відповідно до наукової тематики кафедри комп'ютерної інженерії Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій та пов'язана з виконанням НДР:

«Розробка моделі оптимізації транспортної мережі за допомогою нейромережевого аналізу» (ДР №0124U001868);

«Підвищення стійкості зображень до спотворень від кібератак стенографічного характеру методом умовної деконволюції» (ДР №0124U001607);

«Комплексна розробка прикладних IT-рішень для підвищення продуктивності комп'ютерних систем у комерційному та соціальному секторі» (ДР №0125U003178).

Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях.

Основні результати дисертаційного дослідження достатньо повно висвітлені у наукових працях автора.

За темою дисертації опубліковано:

6 статей у наукових фахових виданнях України;

17 публікацій апробаційного характеру у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій;

1 публікацію у виданні, що індексується міжнародною наукометричною базою Scopus.

Опубліковані праці повною мірою відображають зміст дисертації, її основні наукові положення, результати та висновки.

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення.

Дисертаційна робота має логічну структуру та складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Матеріал викладено послідовно, грамотно та аргументовано. Робота містить достатній обсяг теоретичних досліджень, математичних обґрунтувань та експериментальних результатів. Оформлення дисертації відповідає вимогам, встановленим для кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії.

Зауваження до проведеного дисертаційного дослідження.

Поряд із безперечними перевагами дисертації слід висловити окремі зауваження:

1. У роботі недостатньо детально досліджено вплив параметрів алгоритму MADDPG на швидкість збіжності та якість адаптивного управління мережею.

2. Для більш повного аналізу ефективності запропонованого методу доцільно було б провести порівняння з сучасними алгоритмами багатоагентного навчання, зокрема MAPPO та QMIX.

3. У дисертації основна увага приділена імітаційному моделюванню. Водночас перспективним було б проведення експериментальної перевірки запропонованих рішень на реальному тестовому стенді периферійних обчислень.

4. Недостатньо розглянуто питання інформаційної безпеки та стійкості запропонованого підходу до кіберзагроз в умовах децентралізованого середовища.

5. Потребують подальших досліджень питання масштабування запропонованого методу для надвеликих мереж Інтернету речей із десятками тисяч вузлів.

Зазначені зауваження мають рекомендаційний характер та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок.

Дисертаційна робота Бученка Ігоря Анатолійовича на тему «Модель та метод адаптивного управління периферійними комп'ютерними мережами на основі теорії ігор» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності функціонування периферійних комп'ютерних мереж шляхом розроблення моделі та методу адаптивного децентралізованого управління ресурсами на основі теорії ігор та багатоагентного навчання з підкріпленням.

За актуальністю, науковою новизною, теоретичним і практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року, а її автор – Бученко Ігор Анатолійович – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інженерії програмного
забезпечення в енергетиці
навчально-наукового інституту
атомної та теплової енергетики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Наталія ФЕДОРОВА

Підпис Федорової Н.В. з а с в і д ч у ю:

Учений секретар

Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

15.06.2026



Василь Холєвко