

Голові разової спеціалізованої вченої ради
факультету радіофізики, електроніки та
комп'ютерних систем

Київського національного університету імені
Тараса Шевченка

доктору технічних наук, професору,
професору кафедри математичної інформатики
факультету комп'ютерних наук та кібернетики
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Володимиру ЗАСЛАВСЬКОМУ

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента, доцента
кафедри інформаційних систем та технологій факультету
інформаційних технологій Київського національного університету імені
Тараса Шевченка Палія Сергія Володимировича на дисертаційну роботу
Чепеля Леоніда Валерійовича «Методи і засоби побудови мереж
Інтернету речей на основі гібридної блокчейн-архітектури з адаптивним
консенсусом та мультифакторним управлінням вузлами», що
представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 «Інформаційні технології»

Актуальність теми дисертації. Практика розгортання систем Інтернету
речей від сенсорних мереж моніторингу об'єктів інфраструктури до носимих
пристроїв спеціального призначення має наступні обмеження: залежність від
хмарного центру, затримки передавання даних, вразливість єдиної точки
координації та обмежені апаратні ресурси кінцевих вузлів. Перенесення
частини обчислень і координації на периферію мережі є загальновизнаним
напрямом подолання цих обмежень, однак воно породжує необхідність
розподілення обчислювальних задач між гетерогенними периферійними
вузлами з урахуванням їхнього фактичного стану та їх координацію.
Дисертація Чепеля Л. В. дає відповідь на обидва питання: блокчейн забезпечує
децентралізовану координацію, адаптивний консенсус оптимізує взаємодію
блокчейн-вузлів, а мультифакторна модель керує призначенням задач на
периферійні обчислювачі. Тема є актуальною з наукового і, що не менш
важливо, з прикладного погляду; зміст роботи відповідає темі.

Обґрунтованість та достовірність сформульованих у дисертації наукових положень. У дисертації чітко визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження. Обґрунтованість отриманих результатів забезпечується поєднанням методів аналізу, математичного моделювання, багатокритеріального оцінювання, програмної реалізації та експериментальної перевірки. Теоретичні результати мають програмну реалізацію та пройшли експериментальну перевірку. Зокрема, протокол консенсусу Proof of Indicators (PoI) реалізовано шляхом модифікації клієнта Go-Ethereum; платформу мультифакторного управління реалізовано із використанням смарт-контрактів Solidity та Python-агентів, які збирають показники стану вузлів засобами psutil. Експерименти проведено у контейнерному середовищі окремо для дослідження консенсусу та скорингової моделі. Описані в роботі методики збирання та опрацювання даних дають змогу відтворити основні етапи експериментальної перевірки, а отримані результати узгоджуються із сформульованими теоретичними положеннями та підтверджують працездатність запропонованих методів.

Наукова новизна. Наукова новизна дисертаційної роботи визначається комплексним підходом до координації вузлів блокчейн-орієнтованої мережі Інтернету речей з урахуванням їхнього фактичного стану та ресурсних обмежень, без залучення спеціалізованого обладнання. До найбільш вагомих результатів, які визначають наукову новизну роботи, належать вперше запропонований метод адаптивного консенсусу, удосконалення моделі гібридної тришарової архітектури, а також удосконалення моделі мультифакторного вибору периферійних вузлів.

В роботі осмислено принципи поєднання двох рівнів адаптації – консенсусного та прикладного, – що дозволяє розглядати результати як внесок у розвиток децентралізованих архітектур Інтернету речей та формує цілісний підхід до децентралізованої координації IoT-вузлів. Запропонований метод адаптивного консенсусу Proof of Indicators передбачає динамічний вибір валідаторів на основі вимірюної продуктивності вузлів, використання компактного поширення блоків та механізм керування моментом підключення позачергових вузлів. Такий підхід спрямований на зменшення мережевого навантаження та кількості форків без використання спеціалізованого обладнання. Удосконалена модель мультифакторного вибору периферійних

вузлів базується на мультиплікативній скоринговій функції та враховує комплекс показників поточного стану вузла.

Запропоновані рішення можуть стати підґрунтям для подальших досліджень з адаптивної координації вузлів та розширення систем периферійних обчислень на основі відкритих блокчейн-технологій.

Практичне значення результатів. Запропоновані рішення мають практичне значення для побудови блокчейн-орієнтованих систем Інтернету речей, систем периферійних обчислень та спеціалізованих розподілених інформаційних систем, зокрема у сценаріях, де серверна інфраструктура відсутня або зв'язок із хмарним центром не гарантований. Важливою перевагою запропонованих засобів є можливість їх реалізації на одноплатних комп'ютерах без використання спеціалізованого обладнання, що знижує апаратні вимоги до системи та розширює можливості практичного застосування запропонованих підходів. Самостійну практичну цінність також мають механізми забезпечення надійності платформи периферійних обчислень та рекомендації щодо вибору блокчейн-платформ, придатні для використання проєктувальниками поза межами цієї роботи.

Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях. Основні результати дисертаційної роботи викладено у 4 наукових статтях, з яких одна опублікована у міжнародному журналі, що індексуються в базі Scopus. Результати дослідження також апробовано на низці міжнародних наукових конференцій, що демонструє активне обговорення отриманих результатів у науковій спільноті. Зміст опублікованих праць відображає основні наукові результати дисертації та свідчить про належний рівень їх апробації.

Відповідність дисертації профілю спеціалізованої вченої ради. Дисертаційна робота є завершеним дослідженням, результати якого відповідають спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 «Інформаційні технології» та профілю разової спеціалізованої вченої ради. Тематика, методи дослідження та отримані результати належать до сфери комп'ютерної інженерії, зокрема в частині побудови, програмної реалізації та оптимізації розподілених комп'ютерних і мережових систем.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення. Дисертація Чепеля Л. В. відповідає загальноприйнятому плану та складається зі вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел.

У вступній частині дисертант формулює актуальність теми, завдання, мету, наукову новизну.

У першому розділі проаналізовано основні виклики мереж Інтернету речей, здійснено порівняння блокчейн-платформ за системою критеріїв та розглянуто методи вибору вузлів, на основі чого сформульовано постановку задачі.

Другий розділ присвячено тришаровій кластерній організації мережі — від рівня сенсорів до зовнішнього рівня з агрегацією транзакцій. Вибір типу блокчейну для окремих рівнів обґрунтовано результатами проведеного в першому розділі аналізу.

Третій розділ містить основний науковий результат роботи — метод адаптивного консенсусу Proof of Indicators із компактними блоками, динамічним вибором валідаторів та механізмом керування затримкою старту позачергових вузлів, а також його програмну реалізацію та експериментальне дослідження.

Четвертий розділ присвячено моделі мультифакторного вибору периферійних вузлів, механізмам забезпечення надійності та експериментальній перевірці. Розділ завершується розглядом спільної роботи запропонованих методів управління.

Загалом зміст розділів є логічно взаємопов'язаним: результати аналізу предметної області та постановка задачі створюють підґрунтя для архітектурних рішень, які, своєю чергою, розвиваються у запропонованих методах консенсусу та вибору периферійних вузлів.

Академічна доброчесність. Ознак порушення академічної доброчесності в дисертаційній роботі не виявлено. Запозичення належно оформлено, а основні результати дослідження ґрунтуються на власних розробках автора. Робота має ознаки самостійного наукового дослідження, виконаного з дотриманням основних принципів академічної доброчесності.

Висновки. Висновки дисертації відповідають поставленим завданням і змісту отриманих результатів. У них узагальнено основні теоретичні та практичні результати роботи та визначено перспективні напрями подальших досліджень.

Список використаних джерел оформлений згідно з існуючими вимогами, містить 85 наукових праць українською та англійською мовами та відповідає тематиці дисертації.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи.

Попри загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, вважаю за доцільне звернути увагу на окремі аспекти, які могли б посилити наукову і прикладну цінність дослідження, а також можуть бути предметом подальшого розвитку запропонованих рішень.

1. Техніка компактних блоків дає найбільший ефект за умови, коли тіла транзакцій істотно перевищують розмір їхніх хешів; у проведених експериментах сумарне зменшення мережевого трафіку становить 20,5 %. Було б доцільно детальніше показати, як цей ефект змінюється залежно від сценарію навантаження та розміру транзакцій, зокрема для дрібних телеметричних повідомлень у кілька десятків байтів, характерних для сенсорних мереж. Визначення таких залежностей полегшило б оцінювання доцільності застосування запропонованого механізму в конкретних IoT-сценаріях.

2. Мультиплікативна композиція скорингової функції має корисну властивість «вето-ефекту», однак водночас робить результат вибору чутливим до значень порогових констант. Практичні рекомендації щодо налаштування параметрів для різних класів задач периферійних обчислень – обчислювально інтенсивних, чутливих до затримки та довготривалих фонових – могли б спростити перенесення запропонованої моделі до реальних умов експлуатації.

3. Експериментальна перевірка виконувалася у контейнерному середовищі, що має суттєву перевагу з точки зору відтворюваності, однак контейнери використовують ядро та процесорну архітектуру хоста. Додаткові випробування хоча б на невеликому стенді з фізичних одноплатних комп'ютерів дозволили б оцінити поведінку запропонованої моделі за реальних апаратних умов, зокрема з урахуванням зниження тактової частоти під тривалим навантаженням, повільнішого доступу до пам'яті та накладних витрат на збирання показників стану вузла.

4. Масштаб експериментальної перевірки основних характеристик запропонованого консенсусу є обмеженим кількістю вузлів у тестовому середовищі. Було б корисно додатково дослідити поведінку PoI при істотному збільшенні кількості вузлів та за різних топологій мережі. Це дало б змогу повніше оцінити масштабованість запропонованого підходу та межі його ефективного застосування.

5. Окреслені в перспективах напрями – застосування доказів без розкриття інформації та федеративного навчання – подано загально. Їх конкретизація хоча б на рівні постановок задач (які саме твердження доводяться без розкриття даних, які моделі та на яких даних навчаються) зробила б розділ перспектив логічним продовженням роботи, а не переліком можливостей.

Зазначені зауваження не мають принципового характеру та не ставлять під сумнів наукову новизну, достовірність отриманих результатів або загальну позитивну оцінку дисертації.

Загальна оцінка та висновок.

Дисертаційна робота Чепеля Леоніда Валерійовича на тему «Методи і засоби побудови мереж Інтернету речей на основі гібридної блокчейн-архітектури з адаптивним консенсусом та мультифакторним управлінням вузлами» є завершеною науково-дослідницькою працею. За своєю актуальністю, науковою новизною, теоретичними результатами та практичним значенням дисертаційна робота відповідає усім вимогам атестації здобувачів ступеня доктора філософії відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» та може бути представлена в спеціалізовану вчену раду для офіційного захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри інформаційних систем та технологій
факультету інформаційних технологій
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Сергій ПАЛІЙ



Підпис Сергія Палія
Підписую
Проректор з наукової роботи
ОКСАНА ЖИЛІНСЬКА

24.08.2026

