

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Маковецького Сергія Олександровича

на тему «Моделі та методи розробки програмного забезпечення для обробки та передачі інформації у розподілених системах визначення руху об'єктів»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації

Дисертаційне дослідження присвячене актуальній проблемі підвищення ефективності програмного забезпечення розподілених систем для визначення руху об'єктів у бездротових сітчастих сенсорних мережах. Наявні архітектурні рішення переважно покладаються на передачу сирих або слабо оброблених даних централізованому вузлу прийняття рішення, що спричиняє надмірне навантаження на канал зв'язку, критичну залежність від єдиної точки відмови та неприйнятну для безпекових застосувань затримку реагування. Водночас перехід до повністю децентралізованої обробки на граничному вузлі стримується обмеженістю обчислювальних ресурсів вбудованих платформ і відсутністю систематизованих методів проектування відповідного програмного забезпечення. Тому розроблення моделей і методів інженерії програмного забезпечення, що забезпечують автономне й достовірне виявлення подій руху безпосередньо на вузлі без звернення до координатора, є актуальним науково-прикладним завданням.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає у наступному:

- вперше запропоновано модель програмного забезпечення розподіленої системи визначення руху об'єктів у бездротовій сітчастій мережі, яка відрізняється виконанням повного циклу локальної обробки сенсорних сигналів і прийняття рішень безпосередньо на граничному вузлі без передавання необроблених даних на центральний вузол, що дозволяє зменшити мережеве навантаження та зберегти цілісність виявлення подій руху в умовах нестабільного зв'язку;
- вперше запропоновано метод побудови програмного компонента

автономного локального виявлення подій руху на граничному вузлі, який відрізняється інтеграцією спектрального виділення інформативних ознак, часової персистентної фільтрації та адаптивного відстеження шумового поверху в єдиному самодостатньому компоненті, що дозволяє підвищити достовірність автономного виявлення на ресурсообмежених платформах без ручного калібрування порогу;

- удосконалено метод формальної специфікації та верифікації протоколів інформаційної взаємодії у розподілених системах визначення руху об'єктів, який відрізняється формалізацією станів і переходів взаємодії вузлів у поєднанні з механізмами надлишкової маршрутизації тригерних повідомлень, що дозволяє довести відсутність взаємних і живих блокувань та підтвердити стійкість інформаційного обміну в автономному режимі мережі;

- удосконалено метод адаптації алгоритмів цифрового оброблення сигналів до мікроконтролерних платформ з обмеженими ресурсами, який відрізняється комплексним застосуванням арифметики з фіксованою комою, багаторівневого оброблення сигналів і перерозподілу обчислювальних операцій між етапами локального аналізу, що дозволяє забезпечити детерміноване оброблення кадру за обмеженого обсягу оперативної пам'яті на платформах класу ARM Cortex-M0/M0+.

Достовірність і обґрунтованість наукових результатів дисертаційної роботи підтверджуються застосуванням математичного апарату теорії скінченних автоматів і формальної верифікації моделей для доведення властивостей протоколів інформаційної взаємодії, коректним використанням методів цифрового оброблення сигналів і часово-спектрального аналізу, застосуванням апарату марковських випадкових процесів, а також узгодженістю результатів натурного експерименту, квазі-експериментальної симуляції методом Монте-Карло та інтеграційної мережевої валідації.

Отже, наукове завдання, поставлене в дисертаційній роботі, виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За змістом дисертаційна робота здобувача Маковецького С. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та напрямам досліджень відповідно до освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям інженерії

програмного забезпечення розподілених систем визначення руху об'єктів у бездротових сітчастих сенсорних мережах.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Маковецького Сергія Олександровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати та тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела. Дисертація написана з дотриманням принципів академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Текст дисертації викладено логічно й послідовно, оформлення відповідає чинним вимогам. Автор дотримується наукового стилю та використовує загальноприйняту термінологію у галузі інформаційних систем і технологій управління даними.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Загальний обсяг дисертації – 241 сторінка. У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

Розділ 1 присвячено системному аналізу стану проблеми: класифіковано об'єкти спостереження за кінематичними й спектральними ознаками, проаналізовано архітектурні парадигми програмного забезпечення (ПЗ) DOMDS та програмні стеки mesh-мереж, критично розглянуто методи адаптивної порогової обробки. За результатами аналізу сформульовано наукову проблему, дві наукові прогалини та завдання дослідження.

Розділ 2 містить розроблення архітектурної моделі ПЗ розподіленої системи з декомпозицією вузла на сім функціональних компонентів, формалізацію інформаційних потоків і доведення коректності семантичного стиснення даних, скінченно-автоматну модель протоколу обміну зі специфікацією мовою Promela та верифікацією у SPIN, а також марковську модель енергоспоживання вузла.

Розділ 3 присвячено розробленню методу часово-спектральної адаптації шумового поверху – алгоритмічного ядра автономного виявлення подій руху, включно з обґрунтуванням арифметики з фіксованою комою, потоковою двобуферною архітектурою оброблення та аналізом обчислювальної складності й найгіршого часу виконання.

Розділ 4 охоплює емпіричну валідацію розроблених моделей і методів: натурний експеримент на діючому вузлі, квазі-експериментальну симуляцію

методом Монте-Карло на 200-вузловій мережі, порівняльний аналіз з методами родини CFAR та інтеграційну перевірку розподіленої мережевої архітектури.

Розділ 5 узагальнює отримані результати у вигляді систематизованих методів підвищення ефективності виявлення руху за чотирма групами та інтеграційної карти, а також описує процедуру розгортання системи з нульовою конфігурацією вузла.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 3 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 публікація, індексована в наукометричних базах Scopus та Web of Science; 2 статті у наукових фахових виданнях категорії «Б». Також результати дисертації були апробовані на чотирьох міжнародних науково-практичних конференціях, матеріали однієї з них індексовані в наукометричній базі Scopus. Представлені публікації належним чином відображають результати проведених досліджень у межах дисертаційної роботи і не містять жодних порушень академічної доброчесності. Особистий внесок здобувача, відображений у цих публікаціях і детально описаний у дисертації, підтверджує його авторство відповідних наукових висновків.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Тестовність архітектури обґрунтовано як проєктну властивість, що впливає з відсутності взаємних посилань між модулями конвеєра (FFTEExtractor, NoiseFloorTracker, Decider). Заявлено, що кожен модуль "допускає незалежне модульне тестування з підставленими вхідними даними". Однак у роботі відсутні свідчення того, що таке модульне тестування фактично виконувалося: немає ні опису тестового набору, ні даних про покриття коду. Варто розрізняти доведену тестовність архітектури й емпірично підтверджену якість її реалізації.

2. Оцінка структурної складності реалізації – твердження про «низьку циклічну складність кожної функції» – ґрунтується на якісному підрахунку кількості операторів і рівня вкладеності умов, а не на застосуванні визнаної метрики (наприклад, числа Мак-Кейба) з конкретним пороговим значенням. Кількісний інструментальний вимір складності зробив би це твердження про

якість ПЗ незалежно перевірюваним.

3. Відповідність «етап алгоритму – модуль ПЗ» в розділі 3 заявлена як пряме проєктне рішення, що забезпечує простежуваність специфікації algorithm-to-code. Водночас формальна верифікація протоколу (розділ 2) виконана на рівні окремої моделі Promela, не пов'язаної явним механізмом трасування з програмними модулями розділу 3, тобто простежуваність між формальною специфікацією і структурою коду забезпечена лише для алгоритмічного, але не для протокольного рівня ПЗ.

4. Архітектурні рішення (вибір моделі «Канали та фільтри», декомпозиція на сім/вісім компонентів) обґрунтовано post hoc, через відповідність принципам ISO/IEC 25010 і алгоритмічній структурі TSNFA. У роботі не описано, чи розглядалися альтернативні архітектурні варіанти в межах ітерацій прийнятої методології Design Science Research і за якими критеріями їх було б відхилено.

5. Принцип слабкого зчеплення і сильної зв'язності в розділі 4 сформульовано якісно за одним прикладом реалізації (конвеєр TSNFA); кількісної оцінки зчеплення (наприклад, через метрики залежностей між модулями) для всієї програмної архітектури вузла, включно з мережевим і енергетичним компонентами розділу 2, не наведено.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальної наукової новизни та практичної значимості результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Маковецького Сергія Олександровича на тему «Моделі та методи розробки програмного забезпечення для обробки та передачі інформації у розподілених системах визначення руху об'єктів» виконана на належному науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних і практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 «Інформаційні технології». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, передбаченим у п. 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 № 44 від 12 січня 2022 р.

Здобувач Маковецький Сергій Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент:

професор кафедри інженерії програмного
забезпечення Національного університету
«Одеська політехніка»,
доктор технічних наук, професор



Віра ЛЮБЧЕНКО

Перший проректор
Національного університету
«Одеська політехніка»



Сергій НЕСТЕРЕНКО