

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри програмної інженерії
Харківського національного університету радіоелектроніки

Чуприни Анастасії Сергіївни

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»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

1. Актуальність та обґрунтування вибору теми дослідження

Розподілені системи визначення руху об'єктів на основі бездротових сітчастих сенсорних мереж є затребуваним класом систем у задачах охорони периметра критичної інфраструктури, промислового й екологічного моніторингу, логістики та оборонних застосувань. Їхні експлуатаційні характеристики - обсяг мережевого трафіку, затримка реагування, стійкість до відмов, тривалість автономної роботи - визначаються не стільки елементною базою, скільки архітектурними рішеннями, закладеними у програмне забезпечення вузлів, тому задача побудови такої системи є передусім задачею інженерії програмного забезпечення.

Аналіз, виконаний здобувачем, показує, що більшість відомих архітектур реалізує лише часткову децентралізацію: сенсорний вузол є джерелом сирих даних, а класифікацію події делеговано координаторові або хмарному сервісу. Наслідки цього це зростання трафіку пропорційно кількості вузлів, єдина точка відмови, неприйнятна для безпекових застосувань тривалість повного циклу обміну та ризик порушення конфіденційності. Ці обмеження мають архітектурне, а не алгоритмічне походження, тому їх подолання потребує перегляду моделі побудови програмного забезпечення вузла. Саме на це спрямовано рецензовану роботу, що робить її тему актуальною як для розвитку наукових засад інженерії ПЗ

вбудованих і розподілених систем, так і для практики створення систем, працездатних за деградованого зв'язку.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому та оформлення

Дисертація складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку джерел посилання та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 241 сторінку. У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету й сім задач, визначено об'єкт і предмет, наведено методи дослідження, положення наукової новизни, практичне значення, особистий внесок здобувача та відомості про апробацію.

У першому розділі побудовано класифікацію об'єктів спостереження та модель нестационарного шумового середовища й доведено, що головним чинником деградації достовірності виявлення є нестационарність шуму, а не його абсолютний рівень; на основі таксономії архітектур встановлено архітектурну природу системних обмежень таких систем і сформульовано наукові прогалини та сім дослідницьких задач. У другому розділі запропоновано дворівневу архітектурну модель Edge-Fog з вилученням хмарного рівня з контуру реального часу, декомпозицією ПЗ вузла на сім компонентів зі стабільними інтерфейсами (відповідно до ISO/IEC/IEEE 42010 та ISO/IEC 25010), доведено твердження про коректність семантичного стиснення й побудовано скінченно-автоматну модель протоколу обміну мовою Promela.

У третьому розділі формально специфіковано метод часово-спектральної адаптації шумового поверху (TSNFA) та його реалізацію засобами арифметики з фіксованою комою із зіставленням з детекторами родини CFAR. У четвертому розділі наведено результати натурної валідації (6784 кадри), порівняння семи алгоритмів методом Монте-Карло на моделі мережі зі 200 вузлів та інтеграційного дослідження, доповнені статичними метриками якості коду, аналізом загроз валідності й карткою обмежень. У п'ятому розділі результати узагальнено у формі чотирьох груп методів підвищення ефективності та карти їх інтеграції.

Висновки узгоджені з поставленими задачами й підтверджують досягнення мети дослідження. Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає вимогам постанови Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40.

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

Роботу виконано на кафедрі програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки відповідно до наукового напрямку кафедри — моделі, методи та технології розроблення, забезпечення якості й супроводу програмного забезпечення.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Методологічну основу роботи становить триангуляція методів: проєктування та оцінювання артефактів за методологією Design Science Research, специфікація й верифікація протоколів засобами скінченних автоматів і перевірки моделей у верифікаторі SPIN, розроблення методу порогової обробки засобами теорії цифрового оброблення сигналів, емпіричне оцінювання методами експериментальної інженерії ПЗ, імітаційного моделювання та натурного випробування.

Дизайн порівняльного дослідження є коректним: усі сім зіставляваних алгоритмів отримують тотожну реалізацію вхідного сигналу, тому відмінності показників зумовлені виключно логікою виявлення, а параметри моделі шуму відтворюють найскладніші умови, що робить оцінки консервативними. Публікація вихідного коду й наборів даних у відкритих репозиторіях забезпечує відтворюваність, а наявність підрозділу 4.6 із систематизацією загроз валідності свідчить про методологічну зрілість дослідження. Наукові положення, висновки та рекомендації можна вважати належно обґрунтованими.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

У роботі одержано такі нові наукові результати:

1) уперше запропоновано модель програмного забезпечення розподіленої системи визначення руху об'єктів у бездротовій сітчастій мережі, яка передбачає виконання на кожному вузлі повного циклу локального оброблення сенсорних сигналів, формування тригерних повідомлень і прийняття рішень без передавання необроблених даних на центральний вузол, що дає можливість зменшити мережеве навантаження та підвищити автономність вузлів;

2) уперше запропоновано метод побудови програмного компонента автономного локального виявлення подій руху на граничному вузлі, який інтегрує спектральне виділення інформативних ознак, часову фільтрацію та адаптивне оновлення оцінки шумового середовища у самодостатній компонент, придатний до формальної специфікації й повторного використання;

3) удосконалено метод формальної специфікації та верифікації протоколів інформаційної взаємодії, який, на відміну від наявних підходів, орієнтованих на перевірку окремих сценаріїв обміну або наявності координатного центру, ґрунтується на формалізації станів і переходів взаємодії вузлів у поєднанні з надлишковою маршрутизацією тригерних повідомлень;

4) удосконалено метод адаптації алгоритмів цифрового оброблення сигналів до мікроконтролерних платформ з обмеженими ресурсами, який, на відміну від наявних, передбачає комплексне використання арифметики з фіксованою комою, багаторівневого оброблення та перерозподілу обчислювальних операцій між етапами локального аналізу.

Кожне положення підкріплено кількісним результатом: зменшення мережевого трафіку понад 98 %; чутливість 96,4 % за нульового рівня хибно-позитивних спрацювань на наборі з 6784 кадрів; адаптація порога в діапазоні 792 % динамічного діапазону шумового поверху; рівень виявлення 98,8–99,0 % без централізованого вузла; коефіцієнт доставки пакетів понад 95 %;

оброблення кадру за 21,5 мс за обсягу пам'яті близько 1,1 КБ. Результати викладено у статті у виданні, що індексується в Scopus і Web of Science, двох статтях у фахових виданнях України та п'яти препринтах, поданих до міжнародних рецензованих видань; апробацію здійснено на конференціях IEEE PIC S&T, ICONAT та IEEE EWDTS. Кількість і зміст публікацій відповідають установленим вимогам.

6. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення полягає в можливості проєктування систем, у яких вузол прийняття рішення не є обов'язковим елементом архітектури. Розроблені моделі, методи та алгоритми впроваджено у функціонуючому прототипі програмно-апаратного комплексу, що підтверджено відповідним актом упровадження. Зменшення трафіку понад 98 % за збереження достовірності виявлення знижує вимоги до інфраструктури зв'язку та подовжує час автономної роботи вузлів, а реалізованість методу в межах ресурсного бюджету платформи класу ARM Cortex-M робить результати придатними до застосування на масовій елементній базі.

7. Дотримання вимог академічної доброчесності

Порушень академічної доброчесності не виявлено: робота є самостійним завершеним дослідженням, не містить ознак плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів, усі запозичені положення супроводжуються посиланнями на джерела, а особистий внесок здобувача у працях у співавторстві конкретизовано.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

1. У підрозділі 4.5 наведено статичні метрики якості коду вбудованої реалізації, проте одержані значення не зіставлено з граничними значеннями, прийнятими в практиці розроблення вбудованого програмного забезпечення, що ускладнює їх інтерпретацію.

2. Обґрунтування вибору коефіцієнта мультиплікативного порога та довжин буферів каскадів медіанної фільтрації викладено стисло; доцільним був би аналіз чутливості показників виявлення до цих параметрів.

3. У квазі-експериментальному порівнянні корисна подія змодельована одним типом хвильової форми, тоді як у підрозділі 1.1 виокремлено чотири класи об'єктів; поширення висновків на решту класів потребує додаткової перевірки.

4. Модель якості ISO/IEC 25010 використано для формулювання вимог до архітектури, проте кількісного оцінювання досягнутого рівня супроводжуваності та переносності не наведено, хоча саме ці характеристики обґрунтовують перевагу компонентної декомпозиції над монолітною реалізацією.

5. Зведені рекомендації розділу 5 подано у формі таблиць діапазонів параметрів; корисним доповненням була б формалізована процедура їх адаптації для сенсорів іншого типу.

Наведені зауваження мають дискусійний характер, не знижують рівня обґрунтованості та значущості одержаних результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

9. Загальні висновки щодо дисертації

Дисертаційна робота Маковецького Сергія Олександровича є завершеним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальну науково-прикладну задачу підвищення ефективності програмного забезпечення розподілених систем визначення руху об'єктів за рахунок розроблення та удосконалення відповідних моделей і методів.

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та практичною значущістю робота відповідає вимогам «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 від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами), та «Вимогам до оформлення дисертації»,

затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40, а її автор Маковецький Сергій Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмної інженерії
Харківського національного університету
радіоелектроніки



Анастасія ЧУПРИНА