

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри програмної інженерії

Харківського національного університету радіоелектроніки

Лещинської Ірини Олександрівни

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 теми дисертаційного дослідження

Автономність прийняття рішень на периферії розподіленої системи є одним із визначальних напрямів розвитку сучасних програмно-апаратних комплексів моніторингу. Тривалий час програмне забезпечення розподілених систем визначення руху об'єктів будували за схемою, у якій сенсорний вузол виконує функцію збирача даних, а рішення про наявність події ухвалює виділений вузол - координатор, шлюз або хмарний сервіс. Така схема забезпечувала прийнятні показники в лабораторних умовах, проте суттєво обмежувала застосовність систем поза межами стабільного каналу зв'язку.

Практична потреба в системах, працездатних за деградованого або відсутнього зв'язку, зумовила необхідність переходу до парадигми повної децентралізації, за якої повний цикл оброблення сигналів і класифікації події локалізовано на граничному вузлі. Це є нетривіальним науково-прикладним завданням: вузол має ухвалювати достовірні рішення в умовах нестационарного шумового середовища за обмежених обчислювальних ресурсів, а коректність інформаційної взаємодії між автономними вузлами вже неможливо забезпечити наявністю координаційного центру. Здобувач не обмежується емпіричною перевіркою працездатності, а будує скінченно-автоматну модель протоколу взаємодії й доводить її властивості засобами

вичерпної перевірки моделей, чим утворює методологічно цілісну конструкцію. Зважаючи на наведене, тему дисертації слід визнати актуальною та ваговою з наукового й практичного погляду.

2. Оцінка змісту та структури роботи, її завершеності й оформлення

Робота складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку джерел посилання та трьох додатків. Загальний обсяг роботи - 241 сторінки.

Перший розділ присвячено аналізу стану проблеми: простежено еволюцію архітектур розподілених сенсорних систем, побудовано їх таксономію за розподілом обчислювальної відповідальності та встановлено, що системні обмеження є наслідком архітектурного рішення про делегування класифікації координаторові. Побудовано модель нестационарного шумового середовища й обґрунтовано потребу в неперервному адаптивному відстеженні шумового поверху незалежно в кожному частотному біні, що дало змогу коректно сформулювати наукові прогалини та задачу дослідження.

У другому розділі розроблено дворівневу архітектурну модель Edge-Fog, у якій координатор виконує лише агрегацію підтверджених тригерів, а програмне забезпечення вузла декомпоновано на сім функціональних компонентів зі стабільними інтерфейсами; формалізовано інформаційні потоки, доведено твердження про коректність семантичного стиснення, побудовано скінченно-автоматну модель протоколу обміну мовою Promela та ймовірнісну модель станів вузла. У третьому розділі формально специфіковано метод часово-спектральної адаптації шумового поверху, що поєднує спектральну селекцію смуги, двокаскадну медіанну фільтрацію та вирішувальне правило з мультиплікативним адаптивним порогом.

У четвертому розділі наведено результати натурної валідації, порівняльної симуляції методом Монте-Карло та інтеграційного оцінювання розподіленої архітектури, доповнені аналізом загроз валідності. У п'ятому

розділі результати узагальнено у вигляді чотирьох груп методів підвищення ефективності та зведених рекомендацій. Висновки сформульовано чітко, вони відображають основний зміст одержаних результатів; дисертація є завершеною науковою працею.

3. Достовірність та обґрунтованість одержаних результатів

Теоретичне ядро роботи — формальна специфікація та верифікація протоколу інформаційної взаємодії — обґрунтовано засобами вичерпної перевірки скінченно-автоматної моделі, специфікованої мовою Promela, у верифікаторі SPIN, чим математично підтверджено відсутність взаємних і живих блокувань, живучість доставки тригерного повідомлення та обмеженість лавинного поширення. Доповнювальна аналітична модель надлишкового маршрутизування забезпечує детермінований коефіцієнт доставки пакетів понад 95 % без звернення вузлів до координатора.

Працездатність компонента локального виявлення підтверджено натурним експериментом на діючому сенсорному вузлі за набором із 6784 послідовних кадрів, що охоплює три природні фази шумового середовища: чутливість становить 96,4 % за нульового рівня хибно-позитивних спрацювань, а поріг автономно адаптується в діапазоні 792 % динамічного діапазону шумового поверху без ручного калібрування. Квазі-експериментальним порівнянням семи алгоритмів методом Монте-Карло на моделі мережі зі 200 вузлів встановлено, що перевага запропонованого методу має структурний характер і зумовлена композицією трьох захисних механізмів, кожен з яких протидіє окремому режиму відмови; інтеграційним дослідженням підтверджено рівень виявлення 98,8–99,0 % без централізованого вузла аналізу. Дисертант коректно використовує математичний апарат, обґрунтовано вводить нові поняття, а введені припущення є логічними та правомірними.

4. Наукова новизна одержаних результатів

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 забезпечує зменшення мережевого навантаження та збереження цілісності подій руху в умовах нестабільного зв'язку.

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 та 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 координаційного центру, ґрунтується на формалізації станів і переходів взаємодії вузлів у поєднанні з механізмами надлишкової маршрутизації 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.

5. Практичне значення результатів і повнота їх викладення в публікаціях

Практичне значення полягає у створенні інструментарію проектування розподілених систем, у яких вузол прийняття рішення не є обов'язковим елементом архітектури, що відкриває можливість застосування результатів у сценаріях із деградованим або відсутнім зв'язком. Підтверджена реалізованість повного циклу оброблення за 21,5 мс за обсягу оперативної пам'яті близько 1,1 КБ робить рішення придатними до впровадження на

масовій елементній базі класу ARM Cortex-M; результати впроваджено у функціонуючому прототипі програмно-апаратного комплексу, що підтверджено відповідним актом упровадження.

Основні положення належно висвітлено в публікаціях: опубліковано статтю у виданні, що індексується в Scopus і Web of Science, дві статті у фахових виданнях України та підготовлено п'ять препринтів, поданих до міжнародних рецензованих видань. Апробацію здійснено на міжнародних конференціях і форумах, зокрема IEEE PIC S&T, ICONAT, IEEE EWDTS та 28-му міжнародному форумі «Радіoeлектроніка та молодь у XXI столітті». Ознак порушення академічної доброчесності — плагіату, самоплагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів — не виявлено.

6. Дискусійні положення та зауваження

- у назві роботи та в окремих фрагментах тексту вживається термін «визначення руху», тоді як фактично розв'язується задача виявлення факту події руху та її класифікації; чіткіше термінологічне розмежування зробило б виклад послідовнішим;
- скінченно-автоматну модель протоколу верифіковано за чотирма ключовими властивостями, проте не наведено відомостей про обсяг дослідженого простору станів і межі застосовності вичерпної перевірки при зростанні кількості вузлів, хоча масштабованість є типовим обмеженням цього класу методів;
- у роботі не розглянуто засобів подання оператору обґрунтування спрацювання вузла, що для систем безпекового призначення є суттєвим з погляду довіри до автономних рішень;
- значення коефіцієнта доставки пакетів понад 95 % одержано аналітично та підтверджено імітаційним моделюванням; бажаним було б його зіставлення з вимірюваннями у розгорнутому прототипі мережі;
- групи методів п'ятого розділу не мають явної прив'язки до конкретних положень наукової новизни, що дещо ускладнює цілісне сприйняття внеску роботи.

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

7. Загальна оцінка роботи та її відповідність установленим вимогам

Вважаю, що дисертаційна робота Маковецького Сергія Олександровича «Моделі та методи розробки програмного забезпечення для обробки та передачі інформації у розподілених системах визначення руху об'єктів» є закінченим науковим дослідженням, виконаним на достатньому науковому рівні, яке не порушує принципів академічної доброчесності. За актуальністю, ступенем наукової новизни, практичною значущістю та обґрунтованістю результатів 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 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), а здобувач Маковецький С. О. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення у галузі знань 12 Інформаційні технології.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри програмної інженерії

Харківського національного університету

радіоелектроніки



Ірина ЛЕЩИНСЬКА