

Голові разової спеціалізованої
вченої ради PhD 12564
Хмельницького національного
університету
доктору технічних наук, професору
ЛИСЕНКО Сергію Миколайовичу,
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький,
29016, Україна

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
д-ра техн. наук, професора Журавської Ірини Миколаївської
на дисертаційну роботу Козельського Олександра Володимировича
на тему: «Методи та засоби планування задач і підвищення ефективності
операційних систем реального часу», представлену на здобуття наукового
ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

Актуальність теми дисертації. Забезпечення ефективного використання ресурсів, неперервності функціонування та стійкості операційних систем реального часу (ОСРЧ) в кіберфізичних системах (КФС), робота яких здійснюється в умовах інтенсивних змін станів, нестаціонарних навантажень та можливих деструктивних впливів, є однією з актуальних науково-прикладних задач сьогодення. Науковцями у світі та в Україні активно ведуться дослідження, спрямовані на розроблення методів адаптивного планування задач, підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів, забезпечення відмовостійкості та виявлення аномалій у КФС. Кінцевою метою цих досліджень є забезпечення стабільної, передбачуваної та безпечної роботи систем реального часу, що функціонують у критичних умовах.

Проте, незважаючи на значні досягнення сучасної науки, існуючі ОСРЧ здебільшого базуються на статичних або локальних підходах до планування задач і не забезпечують достатнього рівня адаптивності до багатовимірної динаміки навантаження. Це призводить до неефективного використання ресурсів, зростання затримок у виконанні задач, а також до підвищення ризику виникнення критичних

станів або відмов, особливо в умовах інтенсивних змін та впливу зовнішніх збурень або атак.

Тому пошук нових підходів до підвищення ефективності та надійності ОСРЧ не припиняється. У дисертаційній роботі запропоновано комплексний підхід до вирішення цієї задачі, що базується на використанні тензорної декомпозиції для динамічного розподілу задач і ресурсів, методів превентивного відновлення на основі марковських моделей, а також засобів виявлення аномалій і фальсифікацій у сигналах КФС.

Усе вищезазначене зумовлює актуальність теми дисертаційної роботи Козельського О. В., яка присвячена розв'язанню важливої науково-прикладної задачі, пов'язаної з підвищенням ефективності, надійності та стійкості ОСРЧ в КФС в умовах інтенсивних змін станів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Хмельницького національного університету. Тематика роботи узгоджується зі змістом науково-дослідних робіт, що виконувалися у Хмельницькому національному університеті за держбюджетними темами № 2Б-2024 «Система виявлення ЗПЗ та комп'ютерних атак в корпоративних мережах з використанням хибних об'єктів атак та пасток» (№ держ. реєстр. 0124U000980) та № 1Б-2026 «Система забезпечення стійкості до витоку конфіденційної інформації в корпоративних мережах в умовах впливу комп'ютерних атак» (№ держ. реєстр. 0126U002082), у виконанні яких здобувач брав безпосередню участь як виконавець.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни. Наукова новизна одержаних у дисертації результатів полягає в наступному:

1) ***вперше розроблено*** удосконалену архітектуру планувальника задач із залученням зовнішнього модуля машинного навчання, яка, на відміну від традиційних архітектур ОСРЧ, передбачає винесення аналітичних обчислень за межі мікроконтролера та формування зворотного каналу самооптимізації, що забезпечує збирання багатовимірної телеметрії, її перетворення у тензорні подання та адаптивне оновлення параметрів планувальника без втручання користувача і дає змогу враховувати багатовимірну динаміку навантаження під час керування ресурсами, усуваючи обмеження, зумовлені обчислювальними ресурсами мікроконтролерних платформ, при цьому зберігаючи детермінованість виконання задач у критичному контурі реального часу;

2) *вперше розроблено* метод динамічного розподілу завдань і ресурсів в ОСРЧ на основі тензорної декомпозиції, який використовує багатовимірні моделі системного навантаження для прогнозування поведінки задач з урахуванням взаємозв'язків між параметрами з наступним формуванням рішення на основі їх комплексного аналізу, що на відміну від існуючих алгоритмів оптимізації, які базуються переважно на одномірних метриках або локальних характеристиках задач, дає змогу скоротити час виконання, зменшити навантаження на процесор та підвищити ефективність використання ресурсів системи;

3) *вперше розроблено* метод превентивного відновлення компонентів ОСРЧ, який поєднує низькорозмірну марковську модель прогнозування станів з багаторівневим сторожовим контролем, що на відміну від традиційних watchdog-схем, які реагують лише після зупинки або зависання, дозволяє завчасно оцінювати ризик відмови та локально програмно ініціювати апаратний перезапуск з формалізацією індексу стану, перехідних ймовірностей та політик ескалації, зберігаючи при цьому низьку обчислювальну складність, придатну для мікроконтролерів у реальному часі;

4) *набув подальшого розвитку* метод виявлення фальсифікацій та аномалій у комп'ютерних системах для сигналів КФС на основі модифікованого комбінованого фільтра Калмана з подієвим перемиканням режимів, який, на відміну від поширених багатомодельних або адаптивних фільтрів, не потребує одночасного запуску набору моделей і забезпечує селективне пригнічення підозрілих вимірів на основі аналізу інновацій, що дає змогу відрізнити нормальні режимні зміни від зловмисних відхилень шляхом оперативної зміни режиму оцінювання, зберігати низьку обчислювальну складність, необхідну для мікроконтролерів у системах реального часу, забезпечувати швидке реагування, зменшувати кількість хибних тривог і робить метод придатним до впровадження у ресурсообмежених КФС.

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертаційній роботі Козельського О. В., є достатньо обґрунтованими завдяки коректному застосуванню математичного апарату, а також підтверджуються програмною реалізацією та результатами експериментальних досліджень, що засвідчують узгодженість теоретичних положень із практичними результатами. Для розв'язання поставленої науково-прикладної задачі використано методи тензорного аналізу і лінійної алгебри, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії марковських процесів, теорії оцінювання і фільтрації сигналів, зокрема фільтр Калмана, методи оптимізації, теорії розкладів і графів, методи

машинного навчання та аналізу часових рядів, підходи до побудови ОСРЧ і КФС, а також методи захисту інформації та забезпечення кіберстійкості.

Достатня обґрунтованість наукових положень і висновків дисертаційної роботи забезпечується ґрунтовним аналізом сучасних наукових джерел за тематикою дослідження, чіткою постановкою завдань, застосуванням сучасних методів дослідження, коректним використанням математичного апарату при формалізації моделей і методів, а також послідовним і аргументованим викладенням отриманих результатів.

Підтвердження достовірності та обґрунтованості запропонованих методів і засобів забезпечується результатами їх експериментального дослідження на апаратній платформі мікроконтролера під керуванням ОСРЧ, а також відповідністю отриманих результатів теоретичним оцінкам і визначеним показникам ефективності.

Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки та рекомендації є послідовним результатом проведеного дослідження, виконаного на основі формалізованих моделей і експериментальних даних. Отримані в роботі висновки та практичні результати слід вважати достатньо обґрунтованими, достовірними та коректними.

Таким чином, поставлене в дисертації наукове завдання повністю розв'язано, а здобувач продемонстрував належний рівень володіння методологією наукових досліджень.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності. Зміст дисертаційної роботи здобувача Козельського О. В. повною мірою відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти та Освітньо-науковій програмі ХНУ «Комп'ютерна інженерія» за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія. Робота є завершеним науковим дослідженням і підтверджує вагомий особистий внесок здобувача у розвиток наукового напрямку комп'ютерної інженерії. При написанні роботи здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності.

Практичне значення одержаних результатів. Результатом дисертаційної роботи є удосконалена архітектура планувальника задач ОСРЧ із залученням зовнішнього аналітичного модуля, а також розроблені методи динамічного розподілу задач і ресурсів на основі тензорної декомпозиції, превентивного відновлення компонентів ОСРЧ на основі низькорозмірної марковської моделі та виявлення фальсифікацій і аномалій у сигналах КФС на основі модифікованого комбінованого фільтра Калмана. Запропоновані архітектурні та алгоритмічні

рішення спрямовані на підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів, скорочення часу простою та підвищення стійкості ОСРЧ до збоїв і зловмисних впливів.

Також у роботі показано практичну реалізацію адаптивного керування розподілом задач і ресурсів без збільшення навантаження на мікроконтролер і без порушення детермінованості виконання задач реального часу. Застосування методу тензорної декомпозиції дало змогу підвищити ефективність використання ресурсів системи, метод превентивного відновлення забезпечив скорочення простою та прискорення відновлення порівняно з традиційним сторожовим таймером, а метод на основі модифікованого комбінованого фільтра Калмана забезпечив найвищу інтегральну ефективність виявлення аномалій і фальсифікацій серед порівнюваних підходів. Це дає змогу створювати ОСРЧ з покращеними характеристиками продуктивності, надійності та кіберстійкості для вбудованих і КФС.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в діяльність ТОВ «Ультра ІТ», ТОВ «ДЕВІКС ДІДЖИТАЛ», ТОВ «Nolt technologies», в освітній процес Хмельницького національного університету на кафедрі комп'ютерної інженерії та інформаційних систем під час викладання дисциплін «Технічна діагностика і надійність комп'ютерних пристроїв» і «Безпека та захист комп'ютерних систем», а також у навчальний процес Військової академії імені Євгена Березняка під час викладання військово-спеціальних дисциплін, про що оформлені відповідні акти впровадження, наведені у додатку Б до дисертації.

Мова, обсяг та оформлення результатів. Дисертаційну роботу викладено українською мовою. Текст дисертації вирізняється логічністю, доступністю та високим технічним рівнем викладу із використанням сучасної наукової термінології. Матеріал подано послідовно й зрозуміло для сприйняття. Мовностилістичне оформлення роботи відповідає вимогам до науково-технічних текстів.

Дисертація складається з переліку скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Обсяг основного вмісту роботи становить 195 сторінок друкованого тексту (без додатків). Дисертація належно проілюстрована таблицями та рисунками, а в її тексті використано загальноприйнятту термінологію.

Оформлення дисертаційної роботи виконано відповідно до вимог Наказу МОН України від 12.01.2017 № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» з урахуванням змін, внесених наказом МОНУ від 31.05.2019 № 759.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи. Основні наукові результати дисертації опубліковані у 6 статтях у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України (кат. Б.). Робота пройшла апробацію на 3 міжнародних конференціях, тези яких проіндексовано в наукометричній базі Scopus. Одне Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму) додатково відображає наукові результати дисертації.

У підсумку, основні наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, у повному обсязі відображені в публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

1. У першому розділі дисертаційної роботи наведено змістовний аналіз сучасних підходів до побудови ОСРЧ для КФС, методів підвищення відмовостійкості та виявлення аномалій. Водночас більш чітко структуроване виділення обмежень відомих підходів та ширше використання узагальнювального ілюстративного матеріалу зробили б аналітичну частину ще більш концентрованою.

2. У другому розділі переконливо обґрунтовано архітектуру ОСРЧ із залученням зовнішнього аналітичного модуля та показано, що аналітична обробка виконується поза критичним контуром реального часу. Разом із тим, вибір інтервалу аналітичного оновлення параметрів планування не отримав достатньо формалізованого обґрунтування, тому більш чітке подання критеріїв його визначення для різних режимів функціонування системи зробило б виклад матеріалів переконливішим.

3. У роботі наявні порушення вимог ДСТУ 3008:2015 у частині оформлення ілюстративного матеріалу (рис., табл.), а також ДСТУ ISO 5807:2016 у частині побудування блок-схем (відсутні блоки введення вхідних даних / виведення результатів роботи алгоритмів). Такі неузгодженості не впливають на рівень наукових результатів роботи, але помітні при читанні.

Наведені зауваження не мають принципового характеру, не впливають суттєво на зміст дисертаційної роботи та не зменшують її наукову і практичну значущість.

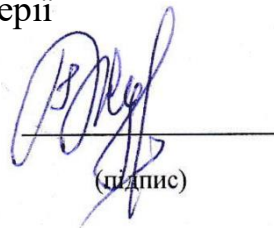
Висновок про дисертаційну роботу. Вважаю, що дисертаційна робота Козельського Олександра Володимировича на тему «Методи та засоби планування задач і підвищення ефективності операційних систем реального часу», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії, виконана на високому науковому рівні, відповідає принципам академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, у якому сукупність отриманих теоретичних

і практичних результатів забезпечує розв'язання поставленого наукового завдання. За актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю дисертація відповідає вимогам пп. 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 від 12 січня 2022 р. № 44, з урахуванням змін, внесених постановами Кабінету Міністрів України від 21.03.2022 № 341, від 19.05.2023 № 502 та від 03.05.2024 № 507.

Здобувач Козельський Олександр Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії
Чорноморського національного
університету імені Петра Могили



Ірина ЖУРАВСЬКА

(підпис)

Нідме Ірина Журавська
завідувач
Кафедри ВК *С. Горелов*

