

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Сіроткіна Олексія Вікторовича

на тему «**Метод побудови паралельних чисельних моделей динамічних систем на базі протоколу реактивних потоків**»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань

12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Актуальність теми дисертації.

Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності методів моделювання складних динамічних систем в умовах інтенсивного розвитку високопродуктивних обчислювальних технологій і формування розподілених обчислювальних середовищ. Зі зростанням кількості обчислювальних ядер, обсягів даних та рівня паралелізму виникають обмеження традиційних методів симуляції, що пов'язані із проблемами синхронізації, затримками обміну повідомленнями й недостатньою здатністю до динамічного балансування навантаження між вузлами системи. У зв'язку з цим застосування реактивних потоків як основи для реалізації паралельного моделювання виступає перспективним напрямом розвитку, що забезпечує створення адаптивних, асинхронних і масштабованих обчислювальних структур з підвищеною стійкістю до збурень у реальному часі. Такий підхід дозволяє реалізувати природне узгодження процесів оброблення інформації, ефективну взаємодію компонентів моделі та формування узагальнених механізмів керування потоками даних. Запропоноване дослідження має комплексний характер і поєднує теоретичні аспекти розвитку концепцій реактивного програмування у сфері паралельного моделювання з прикладною значущістю для побудови високопродуктивних систем аналізу, прогнозування та управління у різних галузях науки і техніки.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів забезпечується використанням строгого математичного апарату, формальних методів опису динамічних систем і верифікацією побудованих моделей у процесі багатократних експериментальних досліджень у паралельному обчислювальному середовищі. Основні положення дисертації ґрунтуються на аналітичних доведеннях, логічній узгодженості висновків і чисельному підтвердженні ефективності запропонованих методів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

1. Розроблено метод побудови паралельних чисельних моделей складних динамічних систем на базі протоколу реактивних потоків, який, на відміну від існуючих, враховує поточну архітектуру обчислювальних систем і сучасні методи розроблення програмного забезпечення, що дозволяє підвищити

ефективність виконання чисельного моделювання у багатопроцесорних і розподілених середовищах.

2. Запропоновано підхід до подання станів динамічних систем у вигляді множини підстанів із використанням унікальних ключів, що, на відміну від монолітних станів в традиційних паралельних моделях, забезпечує модульність, повторне використання та узгодженість при побудові графів переходів і обчислювальних графів в паралельних моделях.

3. Запропоновано подання динамічних моделей у вигляді графа переходів і розроблено підхід його перетворення у структуровану графову модель, що на відміну від використання імперативних описів (наборів інструкцій для виконання машинами) істотно спрощує процес створення та масштабування моделей у багатопроцесорних і розподілених середовищах.

4. Запропоновано використання push- та pull-шаблонів для паралельного інтерактивного моделювання складних динамічних систем, що на відміну від класичних шаблонів, забезпечує ефективне використання обчислювальних ресурсів та менший час відгуку моделі, під час синхронізації отриманих моделей з реальною системою по параметрах моделі.

5. Розроблено метод перетворення графів переходів на обчислювальні графи, що реалізуються у парадигмі реактивних потоків (зокрема, з використанням бібліотеки АККА Streams). Такий метод, на відміну від традиційних (побудованих на основі потоків інструкцій), забезпечує більш природне поєднання абстрактної специфікації з виконуваними обчисленнями, а також спрощує процес масштабованої реалізації моделей у багатопроцесорних та розподілених середовищах.

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

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача **Сіроткіна О.В.** повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Інформаційні технології».

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

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота **Сіроткіна Олексія Вікторовича** є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертаційна робота відзначається чіткою логіко-структурною побудовою, послідовним викладенням матеріалу та високим рівнем наукової культури автора. Робота реалізує всі етапи дослідження, від постановки проблеми до узагальнення результатів, зберігаючи логічність і системність. Виклад вирізняється точністю, структурною зваженістю та використанням сучасної термінології у сфері комп'ютерних наук і паралельних обчислень. Мовлення академічне й аргументовано-логічне, що забезпечує однозначність інтерпретацій. Загалом, дисертація демонструє аналітичність мислення та методологічну зрілість автора.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 162 сторінки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, показано його наукову та практичну значущість у розвитку реактивних архітектур і структур переходів динамічних систем. Подано короткий огляд сучасного стану проблеми, розкрито новизну, практичну цінність і зв'язок теми з науковими програмами.

У першому розділі виконано аналітичний огляд підходів до паралельного моделювання й синхронізації розподілених процесів. Проаналізовано імперативні, подієві, акторно-орієнтовані та реактивні моделі, визначено їх переваги та обмеження. Виявлено, що проблема ефективної координації подій залишається ключовою для масштабування симуляцій. Сформульовано наукову проблему та напрями подальших досліджень.

У другому розділі подано теоретичні основи формальної моделі динамічних систем, визначено поняття підстану, функції переходу й графа переходів. Розроблено формалізм локальних переходів, що дозволяє декомпонувати процес моделювання та реалізувати паралельне виконання. Обґрунтовано узгодженість переходів і критерії стабільності моделі.

У третьому розділі розроблено методологію побудови паралельної моделі на основі графа переходів і подієвого обміну повідомленнями. Запропоновано підхід до асинхронного виконання без централізованої синхронізації, що підвищує масштабованість. Визначено принципи балансування навантаження та критерії ефективності моделювання.

У четвертому розділі наведено практичну реалізацію підходу на основі реактивних потоків із використанням бібліотеки Akka Streams. Показано приклади програмної реалізації, результати експериментів і підвищення продуктивності порівняно з імперативними методами. Доведено стабільність і масштабованість моделі при асинхронних збуреннях.

У п'ятому розділі узагальнено результати та проведено порівняльний аналіз ефективності підходу відносно сучасних методів. Показано, що реактивна архітектура у поєднанні з графами переходів підвищує продуктивність і точність симуляцій. Відзначено універсальність методу для фізичних, технічних і кіберфізичних систем. Сформульовано рекомендації щодо впровадження у розподілених середовищах і подальшого розвитку з інтеграцією машинного навчання.

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 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 1 стаття у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації здобувача відображають високий рівень опрацювання тематики дисертаційного дослідження, глибину теоретичного аналізу та належну аргументованість викладених положень. У роботах послідовно простежується еволюція основних наукових ідей, що свідчить про системність, цілеспрямованість і методологічну зрілість наукового пошуку. Опубліковані результати представлені у фахових виданнях України за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», а також у міжнародних наукових журналах, індексованих у базах даних *Scopus* і *Web of Science*, що підтверджує відповідність проведених досліджень сучасним міжнародним стандартам якості. Здобувач дотримується принципів академічної доброчесності, у публікаціях відсутні ознаки недоброчесних практик, а використані джерела наукової інформації належно процитовані відповідно до вимог етичного цитування. Представлені результати мають чітко виражений авторський внесок, демонструють логічну послідовність наукових висновків і новизну отриманих рішень.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Потребує більш детального опрацювання питання інтеграції розробленої моделі з чинними системами паралельних обчислень та сучасними фреймворками симуляції для розширення спектра її прикладного застосування.

2. Доцільним, на мій розсуд, є представлення додаткових прикладів моделювання для підтвердження універсальності й адаптивності підходу в різних предметних галузях.

3. Слід було б в роботі поглибити аналіз обмежень асинхронного виконання та розширити дослідження стійкості моделей за умов підвищеної щільності подій.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними й не зменшують загальну наукову новизну та практичну значущість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії **Сіроткіна Олексія Вікторовича** на тему «**Метод побудови паралельних чисельних моделей динамічних систем на базі протоколу реактивних потоків**» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в 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 від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач **Сіроткін Олексій Вікторович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

Професор кафедри
комп'ютерних систем,
мереж та кібербезпеки Національного
університету біоресурсів і
природокористування України,
д.т.н., професор



Валерій ЛАХНО