

РЕЦЕНЗІЯ

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 рецензованої дисертаційної роботи зумовлена активним розвитком технологій та методів паралельного моделювання складних динамічних систем – одного з ключових напрямів сучасної обчислювальної науки в даний час, який потребує постійного підвищення ефективності, масштабованості та надійності.

Внаслідок зростання обсягів даних, що обробляються, та ускладнення фізичних, технічних та інформаційних процесів класичні підходи до симуляції демонструють зниження продуктивності, однією з причин якого є обмеження синхронізації та взаємодії між компонентами обчислювальних засобів. Запропоноване дослідження спрямоване на подолання таких обмежень шляхом застосування принципів реактивного оброблення потоків даних та використання структурованих графів переходів, що забезпечує асинхронну, подієво-орієнтовану обробку інформації та дозволяє реалізувати динамічне балансування навантаження між процесами під час моделювання. Отримані результати формують теоретичне підґрунтя для створення високопродуктивних паралельних систем моделювання та мають певне прикладне значення для їх практичної реалізації. Отже, тема дослідження є актуальною та науково значущою для галузі комп'ютерних наук.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна одержаних результатів полягає у формуванні нової концепції паралельного моделювання динамічних систем, заснованої на використанні реактивних потоків та структурованих графів переходів. У межах цієї концепції запропоновано метод формалізації динамічних моделей шляхом подання їх у вигляді системи локальних функцій переходу, які визначають еволюцію підстанів модельованого об'єкта та взаємозв'язки між ними у формі спрямованого графа. Розроблено узагальнений механізм перетворення графа переходів у модель паралельної симуляції з подієвою синхронізацією, який виключає необхідність централізованого керування та забезпечує природну масштабованість у багатопроекторних і кластерних середовищах. Окрему увагу приділено використанню реактивної архітектури для побудови поточкових процесів моделювання, що дозволяє реалізувати ефективне оброблення причинно-наслідкових залежностей між подіями та підвищити стійкість системи до асинхронних збурень. Запропонований підхід поєднує гнучкість

структурного опису з ефективністю паралельного моделювання складних динамічних систем, що обумовлює наукову та практичну значущість отриманих результатів.

Наукові дослідження були виконані здобувачем в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України у відділі математичного і комп'ютерного моделювання під керівництвом члена-кореспондента НАН України, доктора технічних наук, професора Мохора Володимира Володимировича.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання щодо розроблення методу побудови паралельних чисельних моделей динамічних систем на базі протоколу реактивних потоків 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 О.В. Сіроткіна 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 «Комп'ютерні науки».

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 супроводжуються посиланнями на відповідні джерела, оформлені належним чином.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, характеризується чіткою структурою, логічною послідовністю викладення матеріалу та цілісністю. Виклад матеріалу характеризується формальною строгістю і доступністю для сприйняття фахівцями в галузі комп'ютерних наук та моделювання. Мовний стиль витримано в межах академічної традиції, ґрунтується на об'єктивності та коректному використанні наукової термінології в галузі обчислювальної науки, що забезпечує однозначне трактування отриманих результатів та підкреслює високий рівень наукової культури автора.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 162 сторінки.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність обраної теми та визначено її місце в контексті розвитку сучасних методів паралельного моделювання динамічних систем і реактивних архітектур обчислень. Сформульовано мету, основні завдання, об'єкт і предмет дослідження,

наведено характеристику наукової та практичної значущості отриманих результатів. Методологічну основу роботи становить поєднання аналітичних, математичних і експериментальних підходів, спрямованих на формалізацію структур переходів між станами складних систем. У вступі подано стислий огляд сучасного стану проблеми, визначено наукову новизну, практичну цінність та зв'язок теми з науковими програмами, планами й проектами, а також сформульовано основні положення, що виносяться на захист. Структура вступу відзначається логічною послідовністю і забезпечує цілісне сприйняття змісту, спрямованості та значення виконаного дослідження.

У першому розділі дисертаційної роботи виконано аналітичний огляд сучасних підходів до паралельного моделювання динамічних систем і методів синхронізації розподілених процесів. Розглянуто еволюцію концепцій, від класичних імперативних та подієвих до акторно-орієнтованих і реактивних моделей, із визначенням їхніх переваг, обмежень і сфер ефективного застосування. Детально проаналізовано принципи консервативної та оптимістичної синхронізації, а також сучасні підходи, засновані на реактивних потоках і потоково-орієнтованих архітектурах. Показано, що координація подій і обмін станами між процесами залишаються визначальними факторами, які обмежують масштабованість паралельних симуляцій. На основі проведеного огляду сформульовано наукову проблему, яку покликано розв'язати дисертаційне дослідження, та окреслено напрями подальшої роботи, що становлять методичне підґрунтя для розробки власної моделі й методів, представлених у наступних розділах.

У другому розділі дисертаційної роботи сформульовано теоретичні засади побудови формальної моделі динамічних систем на основі структурованих відношень між станами. Визначено базові поняття підстану, функції переходу та графа переходів, які утворюють основу для подання складних об'єктів у вигляді системи взаємопов'язаних елементів. Розроблено формалізм опису еволюції системи через множину локальних переходів, що забезпечує можливість декомпозиції процесу моделювання на незалежні підзадачі. Показано, що така форма представлення створює підґрунтя для реалізації паралельних обчислень, у межах яких кожен перехід може розглядатися як автономний обчислювальний процес. Проведено математичне обґрунтування узгодженості локальних переходів і критеріїв стабільності моделі, що гарантує коректність результатів при подальшій симуляції. Таким чином, другий розділ формує концептуальну та аналітичну основу для побудови обчислювальних структур, реалізованих на наступних етапах дослідження.

У третьому розділі дисертаційної роботи розроблено методологію побудови паралельної моделі динамічної системи на основі графа переходів, визначеного у попередньому розділі. Запропоновано механізм перетворення формалізованої структури переходів у виконувану обчислювальну модель, що забезпечує можливість реалізації симуляційного процесу в багатопроекторному або розподіленому середовищі. Обґрунтовано підхід до організації паралельного виконання переходів із гарантуванням узгодженості станів без необхідності централізованої синхронізації. Розроблено архітектурну схему моделі, у якій обчислювальні вузли взаємодіють за принципом подієвого

обміну повідомленнями, а послідовність виконання визначається логічною структурою графа переходів. Наведено формальні критерії коректності та ефективності симуляції, а також методи керування потоками даних і балансування навантаження між процесами. Таким чином, третій розділ формує практичну основу для реалізації запропонованої теоретичної моделі в контексті паралельних обчислень.

У четвертому розділі дисертаційної роботи представлено практичну реалізацію запропонованого підходу до паралельного моделювання динамічних систем на основі реактивних потоків. Розроблено обчислювальну модель, у якій граф переходів використано як базову структуру для організації подієвого обміну між компонентами симуляції. Реалізацію виконано із застосуванням бібліотеки Akka Streams, що забезпечує реактивну взаємодію між процесами, асинхронну обробку подій і масштабоване виконання в багатопроцесорному середовищі. Наведено приклади програмної реалізації окремих елементів моделі та експериментальні результати, які підтверджують ефективність розробленого методу порівняно з традиційними імперативними підходами. Проведено аналіз продуктивності, оцінено масштабованість і стійкість моделі до асинхронних збурень, що виникають у процесі симуляції. Отримані результати підтверджують коректність теоретичних положень та доводять, що застосування реактивних потоків забезпечує стабільне, ефективне й відмовостійке паралельне моделювання складних динамічних процесів.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи узагальнено результати проведених досліджень і здійснено порівняльний аналіз ефективності запропонованого підходу відносно існуючих методів паралельного моделювання. Шляхом проведення експериментальних досліджень підтверджено практичну можливість побудови паралельних числових моделей динамічних систем на основі протоколу реактивних потоків. Крім того, експерименти продемонстрували стійкість розробленого методу та його незалежність від конкретної форми реалізації, показали гнучкість запропонованого підходу, що дозволяє динамічно змінювати параметри системи в режимі реального часу без порушення цілісності процесу моделювання. В розділі також наведено приклади застосування розробленої методології до різних класів динамічних систем, фізичних, технічних і кіберфізичних, що підтверджує універсальність і адаптивність підходу. Сформульовано практичні рекомендації щодо впровадження паралельних симуляцій у розподілених обчислювальних середовищах та окреслено перспективні напрями подальших досліджень, зокрема інтеграцію методів машинного навчання в процес динамічного керування потоками даних. Таким чином, п'ятий розділ підсумовує результати дисертаційного дослідження в цілому, підтверджуючи його наукову завершеність і придатність до практичного застосування.

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; дві статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у міжнародній базі даних Scopus, з яких одна стаття – у виданні, віднесеному до другого квартілю (Q2) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Результати дисертації були апробовані на двох наукових фахових форумах.

Наукові публікації здобувача характеризуються високим рівнем наукової обґрунтованості та узгодженістю із сучасними тенденціями розвитку комп'ютерних наук, відповідають тематиці дисертаційного дослідження. Основні результати роботи опубліковано у фахових виданнях України за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» та міжнародних журналах, що індексуються в базі даних Scopus, зокрема у виданні квартілю Q2 за класифікацією SCImago Journal and Country Rank / Journal Citation Reports. Усі наукові праці виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності, посилання на авторські права та джерела використаної інформації наведено коректно, плагіат відсутній, результати є оригінальними, отримані у процесі самостійно виконаного дослідження. Особистий внесок здобувача полягає у постановці наукової проблеми, розробці теоретичних моделей, реалізації обчислювальних алгоритмів, проведенні експериментів і формулюванні висновків. У співавторських публікаціях участь здобувача є провідною та визначальною, що підтверджується змістовною узгодженістю тематики, методів і результатів із основними положеннями дисертаційної роботи.

Отже, основні наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

До зауважень щодо дисертаційної роботи можна віднести наступне.

1. Недостатньо чітко сформульовані переваги запропонованих методів та підходів порівняно з існуючими рішеннями з використанням кількісних або якісних показників.

2. Слід відмітити відносно малу кількість графічного ілюстративного матеріалу у п'ятому розділі, присвяченому експериментальним дослідженням, та повну відсутність в тексті дисертаційної роботи даних, поданих у табличному вигляді.

3. В підрозділах роботі, присвячених перспективним напрямкам розвитку здобутих результатів було б корисно присвятити більше уваги питанням використання сучасних хмарних технологій та засобів ґрид-обчислень для реалізації запропонованих методів та моделей.

4. Ще в якості незначного недоліку можна відмітити відсутність в роботі переліку скорочень та не завжди коректне їх використання, зокрема:

– відсутність розшифровки англійською мовою майже всіх аббревіатур з літер латинського алфавіту (PDES, LVT, GVT, HLA, CQRS, ES тощо);

– введення аббревіатур, які ніде більше не використовуються (PDES, MDSE);

- використання абревіатур без розшифровки (зокрема, LP, AGH);
- дублювання розшифровки (ES, CQRS, та п'ять разів – HPC).

Але згадані зауваження не є критичними та не зменшують загальну позитивну оцінку наукової та практичної значимості результатів дисертаційної роботи та рівня кваліфікації її автора.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії О.В. Сіроткіна 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 важливе значення для інформаційних технологій, за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені 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, а здобувач Сіроткін Олексій Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент:

Завідувач відділу математичного та
економетричного моделювання
ІМПЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України,
д.т.н., с.н.с.

Сергій ГІЛЬГУРТ