

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата фізико-математичних наук, доцента,
доцента кафедри інформатики і комп'ютерних наук
Херсонського національного технічного університету

Астіоненка Ігоря Олександровича

на дисертаційну роботу Кривого Ярослава Вячеславовича

«Подієво-орієнтована мікросервісна архітектура масштабованої платформи
скінченно-елементного аналізу»,

подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 12 «Інформаційні технології»

за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Ступінь актуальності обраної теми.

Метод скінченних елементів рідко застосовують для одноразового розрахунку. Найчастіше розрахункову модель доводиться доопрацьовувати ітераційно та виконувати багато однотипних задач: змінювати параметри моделі, перебирати варіанти сітки, повторювати ту саму постановку з іншими вихідними даними тощо. Тому від програмного середовища вимагають не лише точного результату, а й здатності швидко виконувати такі серії розрахунків.

Програмні засоби чисельного моделювання історично мають монолітну архітектуру, типову для настільних застосунків. Така архітектура обмежує незалежне масштабування окремих функціональних частин, асинхронне виконання довготривалих операцій та інтеграцію з кластерними і хмарними середовищами. Усталеним напрямом розвитку архітектури програмного забезпечення є впровадження мікросервісного підходу. Водночас він призводить до додаткових витрат на взаємодію між сервісами, тому доцільність його застосування потребує кількісної оцінки.

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне науково-прикладне завдання побудови розподіленої платформи скінченно-елементного аналізу з подієвою координацією повного обчислювального циклу та незалежним масштабуванням його найбільш ресурсоємної стадії. Запропоноване здобувачем поєднання сервісної декомпозиції, подієвої взаємодії, відокремленого зберігання обчислювальних артефактів і контейнерної оркестрації є своєчасним і науково обґрунтованим. Суттєво, що автор не обмежується концептуальним описом архітектури, а доводить її до працездатного програмного прототипу й підкріплює експериментальним дослідженням продуктивності, масштабованості та збереження чисельного результату.

Таким чином, тема дисертації є актуальною, узгоджується із сучасними напрямками розвитку математичного моделювання, розподілених інформаційних систем, хмарних обчислень і наукового програмного забезпечення та повною мірою відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Структура та зміст дисертаційної роботи.

Дисертація складається з анотацій українською й англійською мовами, переліку публікацій здобувача, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. У вступі обґрунтовано вибір теми, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів, наведено відомості про апробацію, публікації та особистий внесок здобувача.

У першому розділі порівняно монолітну та мікросервісну архітектури й розглянуто повний цикл скінченно-елементного аналізу. За результатами аналізу наявних комерційних, хмарних і відкритих програмних рішень обґрунтовано вимоги до веборієнтованої платформи.

У другому розділі сформульовано функціональні й нефункціональні вимоги до системи, побудовано концептуальну модель платформи, визначено функції та межі відповідальності основних компонентів: підготовки даних, чисельного

розв'язання, постобробка, агрегування та візуалізації. Для формалізації використано нотації UML та IDEF0.

У третьому розділі наведено програмну реалізацію запропонованої архітектури, описано склад платформи та порядок обміну даними, визначено спосіб масштабування обчислювальної стадії: компоненти передають одне одному лише керівні події, сітки й результати розрахунків зберігають у спільному сховищі, а обчислювальний компонент поділено на диспетчер завдань і незалежних виконавців.

У четвертому розділі наведено програму експериментального дослідження: постановки двовимірної та тривимірної задач Пуассона, методику контролю чисельної коректності, характеристики стенда, змінні, метрики й порядок проведення серій. Описане дослідження виконано на пакетах незалежних задач за різної кількості обчислювальних виконавців із повторенням кожної конфігурації.

Автором встановлено, що ефективність горизонтального масштабування визначається співвідношенням часу корисного чисельного обчислення та накладних витрат розподіленого конвеєра. Зі збільшенням кількості виконавців пропускна здатність платформи зростає, а наскрізна затримка зменшується, проте приріст має непропорційний характер, що автор обґрунтовано пов'язує з конкуренцією компонентів за ресурси одного фізичного хоста.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість результатів забезпечується послідовним застосуванням методів системного та порівняльного аналізу, структурного й об'єктно-орієнтованого моделювання, методів проєктування програмних архітектур, експериментального дослідження та описової статистики.

Архітектурні положення підтверджено не лише моделями, а й працездатним програмним прототипом повного обчислювального конвеєра. Достовірність експериментальних висновків підсилюється чітким розмежуванням контрольованих змінних, триразовим повторенням кожної конфігурації,

використанням пакетів незалежних задач та одночасним аналізом пропускної здатності та тривалості окремих стадій.

Заслугує на схвалення рішення автора не відокремлювати оцінювання продуктивності від перевірки математичного результату. Зіставлення обчисленого поля вузлових значень із наперед відомим точним розв'язком дало змогу показати, що зміна кількості обчислювальних виконавців не змінює контрольних характеристик фіксованої постановки, тобто інфраструктурне масштабування не впливає на зміст обчислення. Для платформи, що претендує на роль середовища чисельного моделювання, ця вимога принципова.

Опис стенда, версій використаного програмного забезпечення та регламенту проведення серій є достатнім для незалежного повторення експерименту. Висновки дисертації узгоджуються з поставленою метою та завданнями і підтверджуються наведеними результатами.

Наукова новизна отриманих результатів.

До результатів, що мають ознаки наукової новизни, належать:

- вперше розроблена архітектурна модель подієво-орієнтованої мікросервісної FEA-платформи, у якій повний обчислювальний цикл поділено на автономні компоненти, розмежовано керівні події, службові дані та великі обчислювальні артефакти й визначено контракти взаємодії між стадіями;

- вперше для платформ такого класу експериментально встановлено відтворюваність контрольних чисельних характеристик при зміні кількості обчислювальних виконавців, чим підтверджено незалежність точності розв'язку від конфігурації обчислювальних ресурсів;

- дістали подальшого розвитку методи оцінювання масштабованості розподілених обчислювальних платформ завдяки спільному аналізу пропускної здатності, наскрізної затримки, її статистичних параметрів, тривалості стадій і внутрішніх метрик чисельного розв'язувача;

- уточнено закономірності впливу складності скінченно-елементної задачі на ефективність масштабування та запропоновано використовувати частку часу

чисельного розв'язання в повній наскрізній затримці як критерій вибору кількості виконавців.

Практичне значення результатів.

Практичне значення роботи полягає у створенні працездатного програмного прототипу, який реалізує повний цикл оброблення задачі: побудову сітки, формування математичної постановки, чисельне розв'язання, післяоброблення, зберігання артефактів, моніторинг станів і візуалізацію результату.

Запропоновані контракти подій, метаданих і артефактів можуть бути використані при побудові інших розподілених платформ чисельного моделювання. Важливо, що платформа є нейтральною щодо елементної бази: заміна функцій форми, типу елемента чи розв'язувача локалізується в межах обчислювального компонента і не зачіпає схеми взаємодії, що робить середовище придатним для порівняльного дослідження альтернативних скінченно-елементних схем.

Методика експериментального оцінювання є корисною самостійно: вона дає змогу визначати доцільну кількість обчислювальних виконавців залежно від складності задачі та співвідношення корисного обчислювального часу й накладних витрат, а не за загальними міркуваннями про продуктивність.

Повнота викладу результатів у наукових публікаціях.

У межах дисертаційного дослідження підготовлено та оприлюднено 3 наукові публікації у фахових виданнях України, що відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та входять до переліку фахових наукових видань. Основні положення й отримані результати також були винесені на обговорення під час міжкафедральних семінарів і представлені на науковій конференції, що свідчить про їх апробацію.

Академічна доброчесність.

За результатами ознайомлення з текстом дисертації ознак некоректного використання результатів інших авторів не встановлено, запозичені положення супроводжуються посиланнями на відповідні джерела. Остаточний висновок щодо

академічної доброчесності має враховувати офіційний звіт перевірки тексту дисертації.

Зауваження та дискусійні положення.

Не применшуючи наукового та практичного рівня роботи, вважаю за доцільне зупинитися на положеннях, які потребують уточнення або можуть слугувати предметом обговорення під час захисту.

1. Обчислювальний експеримент побудовано на трикутних і тетраедральних елементах з лінійними функціями форми. Для перевірки архітектурних рішень такий вибір виправданий, проте поза розглядом залишилися елементи з нелінійними функціями форми, де більша кількість вузлів і складніші локальні матриці жорсткості будуть змінювати і обсяг артефактів, і час роботи системи. Порівняння результатів для цих двох випадків було б переконливішим підтвердженням можливостей платформи.

2. У роботі не виконано порівняння запропонованої архітектури з монолітною реалізацією того самого обчислювального циклу. Це не дає змоги ні чітко оцінити накладні витрати, ні визначити клас задач, для яких застосування платформи є доцільним.

3. Усі серії експериментів виконано на одному фізичному хості, тому міжвузлові мережеві затримки та розміщення обчислювальних виконавців планувальником не враховано і, як наслідок, поширювати отримані залежності на багатовузловий кластер без додаткової перевірки не можна.

4. Окремого доопрацювання потребує термінологічна уніфікація тексту: назви компонентів, параметрів і станів оброблення переважно наведено у вигляді англomовних ідентифікаторів, а для окремих понять одночасно використовуються українські та англійські позначення. Це зауваження має суто редакційний характер і не стосується змісту отриманих результатів.

Зазначені дискусійні положення не ставлять під сумнів одержані автором результати та не знижують загального наукового і практичного рівня дисертаційної роботи.

Загальний висновок.

Дисертація Кривого Ярослава Вячеславовича «Подієво-орієнтована мікросервісна архітектура масштабованої платформи скінченно-елементного аналізу», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», є завершеним самостійним науковим дослідженням, у межах якого розв'язано актуальне науково-прикладне завдання побудови та експериментального дослідження масштабованої розподіленої платформи скінченно-елементного аналізу.

За актуальністю теми, рівнем наукової новизни, ступенем обґрунтованості та достовірності отриманих результатів, повнотою їх оприлюднення, а також теоретичною і практичною значущістю дисертаційна 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 № 44 від 12 січня 2022 року, та чинним вимогам до оформлення дисертацій.

Автор дисертації, Кривий Ярослав Вячеславович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

кандидат фізико-математичних наук, доцент,

доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук

Херсонського національного технічного університету

Ігор АСТІОНЕНКО