

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Субботіна Сергія Олександровича на дисертацію Ігнатченко Марії Сергіївни «Лінгвістичне забезпечення скінченно-елементного моделювання у паралельних обчислювальних системах», яку подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-технічної проблеми створення нових підходів до розробки програмного забезпечення для скінченно-елементного аналізу широких класів задач в паралельних обчислювальних системах.

Ступінь актуальності обраної теми

На сьогодні, як справедливо зауважує авторка дисертаційного дослідження, створення нової техніки практично неможливе без застосування сучасних інформаційних технологій та комп'ютерних систем. Однією з найважливіших проблем, яка виникає в промисловості, є заміна дорогих, тривалих, а інколи й небезпечних фізичних випробувань прототипів складних інженерних систем, що проєктуються, віртуальним комп'ютерним експериментом. Такий підхід дозволяє істотно скоротити витрати часу та ресурсів на проєктування нової техніки, а найчастіше й поліпшити його якість.

Одним з найбільш поширених на практиці наближених методів, що застосовуються на практиці для моделювання та дослідження властивостей нової техніки та її відповідності вимогам замовника, є метод скінченних елементів. Його популярність зумовила розробку великої кількості програмного забезпечення, яке автоматизує різні аспекти застосування цього методу. Найбільш відомими комерційними програмами скінченно-елементного аналізу є Abaqus, Ansys, DIANA FEA, MSC Nastran, LS-Dyna, SESAM, SOLIDWORKS та багато інших. Серед програм, які вільно поширюються, можна відзначити

FreeCAD, FreeFEM, GetFEM++, OpenCAD тощо. Кількість таких програмних засобів неухильно збільшується, оскільки, з одного боку, постійно зростає складність задач, які доводиться вирішувати сучасним інженерами, а з іншого, змінюються можливості сучасної обчислювальної техніки (насамперед за рахунок широкого впровадження паралельних та розподілених систем). Тому, для повного використання наявних можливостей комп'ютерів необхідно розробляти паралельні версії алгоритмів скінченно-елементного аналізу.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що обрана здобувачкою тема дисертаційної роботи є актуальною і такою, що має суттєву значущість для вирішення важливої науково-технічної задачі у галузі комп'ютерних наук і повністю відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Структура роботи

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, які містять 22 підрозділи, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Вступ до дисертаційної роботи детально обґрунтовує актуальність дослідження, визначає зв'язок роботи з науково-дослідними темами Запорізького національного університету, де виконувалася дисертація, формулює її мету та завдання, визначає об'єкт, предмет та методи дослідження, а також описує наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Крім того у вступі наведено інформацію про практичне використання результатів роботи, визначається особистий внесок здобувача, містяться дані про апробацію результатів дослідження та їх висвітлення у наукових публікаціях.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу стану проблеми за тематикою роботи. Він розпочинається з огляду сучасних систем автоматизації проєктувальних робіт і аналізу поточного стану досліджень заявленої предметної області. Цей аналіз дозволив авторці виявити відкриті питання та рівень важливості вирішення цих питань, а також сформулювати мету й основні завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі розглянуто питання, пов'язані з сучасними архітектурами наукового програмного забезпечення і насамперед систем скінченно-елементного аналізу. Було розглянуто найбільш поширені на сьогодні при розробці таких програм архітектурні шаблони. Особливої уваги у другому розділі було приділено патернам проектування, які дозволяють істотно підвищити якість розробки складного програмного забезпечення і зменшити час на його налагодження. В розділі обґрунтовується ефективність застосування твірного патерну проектування Prototype для розробки паралельних реалізацій систем скінченно-елементного аналізу, що дає можливість уніфікувати програмний код для застосування в принципово різних типах паралельних обчислювальних систем: мультипроцесорах і мульткомп'ютерах.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено використанню патерну Prototype для розробки паралельної версії препроцесора системи скінченно-елементного аналізу. В розділі обґрунтовується застосування функціонального підходу до побудови геометричних моделей, як найбільш зручного та універсального способу опису дво- та тривимірних областей довільної форми. Для його програмної реалізації було запропоноване спеціалізоване лінгвістичне забезпечення – проблемно-орієнтована мова FORL-G. Її особливістю є підтримка можливості застосування в паралельних обчислювальних системах. Далі наводяться розроблені або вдосконалені в роботі паралельні алгоритми. Завершується розділ описом виконаного обчислювального експерименту, що підтверджує ефективність запропонованого підходу.

У четвертому розділі запропонований підхід до реалізації паралельних програм із застосуванням патерну проектування Prototype поширюється на реалізацію ядра системи скінченно-елементного аналізу – процесора. В розділі наведено розроблені оригінальні структури даних і алгоритми, що дозволяють користувачеві самостійно описувати математичну модель і схему розрахунку широких класів задач із застосуванням запропонованої в роботі мови FORL-F. Завершується розділ аналізом результатів проведених експериментів, який

демонструє коректність та ефективність розробленого обчислювального методу та відповідного програмного забезпечення.

П'ятий розділ присвячено застосуванню шаблону Prototype для розробки постпроцесору систем скінченно-елементного аналізу, що працює в паралельних обчислювальних системах. В розділі описано відповідний паралельний алгоритм, його програмну реалізацію, а також обчислювальні експерименти, які підтверджують його ефективність.

Висновки по роботі узагальнюють основні отримані в дисертаційному дослідженні результати.

Дисертація в цілому є структурно та змістовно гарно збалансованою роботою. Послідовність викладення її положень є логічною і такою, що побудована у відповідності з науковим методом.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність

Ступінь обґрунтованості та достовірності результатів дисертаційного дослідження не викликає сумнівів, оскільки вона забезпечується:

- коректністю обраної методології дослідження;
- аналізом сучасного стану досліджень в заявленій предметній області, комплексним застосуванням теоретичних та експериментальних методів дослідження;
- експериментальним доведенням ефективності запропонованої методики;
- адекватною добіркою використаних літературних джерел.

Наукова новизна отриманих результатів

При виконанні дисертаційної роботи отримано такі наукові результати:

- *вперше* запропоновано проблемно-орієнтовану мову FORL-G, за допомогою якої користувач може здійснювати функціональне моделювання дво- та тривимірних геометричних областей довільної форми, і яка підтримує

паралельні методи обчислень, що суттєво прискорює процес побудови скінченно-елементних моделей;

– *вперше* запропоновано проблемно-орієнтовану мову FORL-F, яка дозволяє із застосуванням варіаційних принципів описувати чисельні схеми розрахунку широких класів задач математичної фізики в паралельних обчислювальних системах;

– *вперше* запропоновано методологію розробки систем скінченно-елементного аналізу в паралельних обчислювальних системах із застосуванням патерну проектування Prototype;

– *отримав подальшого розвитку* метод функціонального моделювання геометричних областей із застосуванням теорії R-функцій і паралельних розрахунків;

– *отримав подальшого розвитку* паралельний алгоритм виведення розрахункових співвідношень методу скінченних елементів із варіаційних принципів;

– *отримав подальшого розвитку* метод візуалізації результатів чисельного розрахунку в паралельних обчислюваних системах;

– *вперше* створено автоматизовану систему проектування, в якій програмно реалізовані запропоновані підходи та алгоритми.

Отримані нові результати, у сукупності, розв'язують актуальну науково-технічну проблему підвищення ефективності розробки систем скінченно-елементного аналізу з використанням паралельних обчислень.

Значущість результатів дослідження для науки і практики та можливі шляхи їх використання

Наукова та практична значущість результатів дисертаційного дослідження підтверджується тим фактом, що розроблені підходи дозволяють значно підвищити якість програмної реалізації систем скінченно-елементного аналізу в паралельних обчислювальних системах.

Розроблений програмний засіб femsolver дозволяє автоматизувати всі аспекти застосування методу скінченних елементів: побудову якісних дискретних моделей, описаних на мові FORL-G; чисельний розрахунок на основі схеми, формально заданої користувачем на мові FORL-F; візуалізацію отриманих результатів.

Повнота викладу результатів дослідження в наукових публікаціях

Основні наукові результати роботи в повному обсязі викладені у 11 публікаціях, що відповідає п. 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії. Особистий внесок здобувача у ці публікації є суттєвим, що наведено у дисертації. Серед цих робіт дві монографії (у тому числі одну, що вийшла англійською мовою в країні Європейського Союзу (Латвія)); дві наукові роботи у фахових періодичних виданнях України, що висвітлюють основний зміст дисертації, і одну статтю було опубліковано у міжнародному періодичному виданні (Польща). Крім того, здобувачка має авторське свідоцтво на програмний продукт.

Наукові результати, що отримані у дисертаційній роботі, також були апробовані та отримали позитивну оцінку на шести всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях.

Академічна доброчесність

Очевидних ознак порушення авторкою академічної доброчесності, зокрема випадків оприлюднення, частково або повністю, наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення їх авторства, не виявлено.

Відповідність дисертації вимогам, передбаченим пунктом 10 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленої кваліфікаційної наукової праці на правах рукопису, що виконувалася здобувачем особисто. Дисертація містить наукові положення, нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати проведених здобувачем досліджень, що мають істотне значення для галузі комп'ютерних наук. Це ґрунтовно підтверджено публікаціями, що розкривають основний зміст роботи. Дисертація свідчить про суттєвий особистий внесок здобувача в науку та характеризується єдністю змісту. Все вищезазначене дає змогу зробити висновок про відповідність роботи вимогам п. 10 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії.

Дисертацію оформлено у відповідності до вимог Міністерства освіти і науки України (Наказ № 40 від 12.01.2017 із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019).

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

Загалом, позитивно оцінюючи наукове і практичне значення отриманих дисертантом результатів, варто відзначити наступні дискусійні положення і зауваження до змісту дисертаційної роботи.

1. У вступі дисертації при описі виконаної програмної реалізації – системи скінченно-елементного моделювання з відкритим програмним кодом `femsolver` стверджується, що для її розробки були застосовані лише безкоштовні бібліотеки `Boost`, `Eigen` і `STL`. Проте жодним чином не згадуються бібліотеки `OpenMP` та `MPI`, які де-факто є стандартними при розробці паралельних програм в мультипроцесорах та мультикомп'ютерах (відповідно).

2. В третьому розділі дисертаційної роботи досить детально описано паралельну програмну реалізацію препроцесору системи скінченно-елементного аналізу, який базується на застосуванні функціонального підходу до геометричного моделювання. На жаль, в тексті розділу не приділено

достатньої уваги таким важливим питанням, як пошук особливих вузлів та оптимізація отриманої дискретної моделі.

3. Для демонстрації ефективності запропонованого підходу до розробки паралельних реалізацій наукового програмного забезпечення, які були описані у третьому, четвертому та п'ятому розділах дисертації, доцільно було б виконати розрахунки не тільки в системах зі спільною пам'яттю, а й, наприклад, на обчислювальному кластері.

4. Крім того, робота значно б виграла, якби в ній були виконані теоретичні оцінки ефективності запропонованих паралельних алгоритмів.

5. Доцільно також було б в тексті дисертації (третій та четвертий розділи) приділити більшій уваги опису алгоритмів паралельної трансляції запропонованих проблемно-орієнтованих мов FORL-G і FORL-F.

6. З тексту дисертації (п'ятий розділ) не зовсім зрозуміло, навіщо розпаралелювати алгоритм візуалізації результатів чисельного розрахунку, оскільки сучасні відеопроцесори обладнані апаратними можливостями для цього.

7. На жаль, в тексті дисертаційної роботи недостатньо уваги приділено опису розробленої системи femsolver та межах її застосування.

8. В тексті дисертації наявна певна кількість орфографічних та стилістичних помилок, яка, втім, не є критичною.

Загальний висновок

Зазначені зауваження та рекомендації не впливають на загальну позитивну оцінку представленого наукового дослідження. Вважаю, що дисертація на тему «Лінгвістичне забезпечення скінченно-елементного моделювання у паралельних обчислювальних системах» є завершеною самостійною науковою роботою, яка містить нові обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що мають істотне значення для галузі комп'ютерних наук і за актуальністю, змістом, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, достовірністю і значущістю відповідає вимогам

«Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 р., а її авторка, Ігнатченко Марія Сергіївна, за результатами публічного захисту наукових досліджень у формі дисертації, на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри програмних засобів
Національного університету
«Запорізька політехніка»



С. О. Субботін

Підпис Субботіна С.О. підтверджую

Вчений секретар
Національного університету
«Запорізька політехніка»



В. В. Кузьмін