

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Сауха Сергія Євгеновича на дисертаційну роботу **Масюка Арсенія Леонідовича «Діалогові засоби паралельного моделюючого середовища, орієнтованого на мережеві динамічні об'єкти»**, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – «Математичне моделювання та обчислювальні методи».

1. Актуальність теми дисертації

На сьогодні задачі моделювання складних динамічних систем з зосередженими та розподіленими параметрами є актуальними. Підходи до їх вирішення полягають у створенні та використанні розподілених паралельних моделюючих середовищ (РПМС), тобто комплексів апаратних та програмних засобів підтримки повного циклу моделювання об'єктів та процесів, а саме: побудова первинних (вихідних) моделей, формування на їх основі математичних моделей, розв'язування задач моделювання з використанням паралельних обчислювальних ресурсів, відображення результатів моделювання. Європейська науково-технічна програма «Горизонт-2020» відносить до пріоритетних розробки дослідницьких інфраструктур, в які інтегруються РПМС як універсального, так і проблемно-орієнтованого спрямувань.

Постійно зростаючий рівень складності моделей динамічних об'єктів та процесів потребує залучення всіх наявних обчислювальних ресурсів, які входять до складу проблемно-орієнтованого моделюючого середовища (ПОМС). Використання робочих станцій обумовлює необхідність застосування такого програмного забезпечення, яке б могло спростити процес побудови та параметризації вихідних моделей за допомогою розвинутих та інтуїтивно зрозумілих для експертів предметних областей діалогових засобів. Тому актуальність теми дисертаційної роботи Масюка А.Л., спрямованої на вдосконалення діалогових та алгоритмічних складових програмного забезпечення ПОМС, не викликає сумнівів.

2. Структура та зміст роботи. Мета, об'єкт і предмет дослідження

Робота складається з 5 розділів, вступу та загальних висновків.

У вступі автор обґрунтовує актуальність проблеми, наводить мету роботи та задачі, що вирішуються для її досягнення. У якості об'єкта дослідження виступають моделі складних мережевих об'єктів в контексті ПОМС. Предметом дослідження є алгоритми і методи, що забезпечують інтерактивну взаємодію користувача з моделями мережевих об'єктів на прикладі задачі моделювання динаміки розподілу повітря в шахтних вентиляційних мережах. Актуальність досліджень підтверджується їх тісним зв'язком з науково-дослідницькими роботами кафедри «Комп'ютерна

інженерія», а також з проектами міжнародного співробітництва цієї кафедри з інститутами Німеччини, а саме з Інститутом динаміки складних технічних систем ім. Макса Планка (м. Магдебург) та з Інститутом паралельних і розподілених систем Штутгартського університету (м. Штутгарт).

У першому розділі роботи автор наводить математичну модель такого мережевого динамічного об'єкта як шахтна вентиляційна мережа (ШВМ), дає коротку характеристику ШВМ та підсистемі її автоматизованого управління. В цьому ж розділі обґрунтовується необхідність діалогової підтримки всіх етапів моделювання складних динамічних об'єктів. Розглядаються існуючі системи модельної підтримки шахтних об'єктів та наводяться їх основні недоліки. Крім того, аналізуються сучасні діалогові засоби програмних систем та дається загальна характеристика інтегрованим паралельним засобам сучасних процесорів (а саме технології SSE та AVX від Intel).

У другому розділі автором представлено концепцію побудови підсистеми діалогу (ПД) ПОМС. Автор наводить визначення ПОМС, представляє його загальну структуру, що складається з програмних та апаратних підсистем, і формулює основні вимоги до засобів ПОМС. Наголошується, що ПОМС доцільно використовувати як для імітаційного моделювання газодинамічних процесів в ШВМ, так і для управління шахтними об'єктами. При цьому стверджується, що організація управління ШВМ на основі ПОМС дозволить заздалегідь спрогнозувати розвиток газової обстановки та прийняти адекватні рішення. Автор відзначає необхідність забезпечення користувача ПОМС сучасними діалоговими засобами задля досягнення максимальної концентрації його уваги на роботі з модельними та реальними об'єктами. При цьому обґрунтовується важливість побудови та використання об'єктно-орієнтованого представлення первинних моделей мережевих об'єктів за допомогою засобів ПД, як найбільш прийняттого типу представлення моделі для людини-користувача.

У третьому розділі розглядається проблеми діалогової підтримки всіх етапів моделювання мережевого об'єкта (МО). Наводяться можливі представлення вихідної моделі у вигляді завдань, які повинні бути вирішені, а саме: тривимірне представлення реальної топології об'єкта; двовимірне представлення МО у вигляді графів; параметричне представлення моделі; представлення фрагментів МО у вигляді рівнянь; блочне представлення окремих фрагментів МО; представлення за допомогою об'єктно-орієнтованої мови; технологічна карта об'єкта. Запропоновано універсальний формат представлення вихідних моделей МО у вигляді топологічної моделі, параметрів візуалізації, та фізичних параметрів. Вхідні моделі, що використовують універсальний формат, отримують єдиний (базований на атрибутах) інтерфейс доступу до своїх параметрів, що дозволяє обмінюватися модельними даними між різними підсистемами ПОМС без необхідності додаткової конвертації форматів вхідних даних. Для кожного з етапів функціонування ПД наведено відповідні діалогові алгоритми.

Автором досліджуються відомі методи реалізації стека скасування та повтору останніх дій користувачів (ССПОДК), що є актуальним при побудові модуля ПД для створення та редагування вихідних моделей МО. Зокрема, проаналізовано методи Memento та Command, які є фактично стандартом для побудови ССПОДК. Автором запропоновано новий метод Diff, який базується на методах Memento та Command, але дозволяє уникнути змінення програмного коду при розширенні функціональності редактора моделей. Ідея запропонованого методу полягає в пошуку змін між двома станами моделі (до редагування та після), які були записані до двійкових архівів, та автоматичному генеруванні відповідних команд-модифікаторів в залежності від результатів пошуку.

У четвертому розділі автор приділяє увагу вирішенню проблеми простою процесорів, яка виникає при використанні MIMD-підходу до побудови вирішувача рівнянь для задачі розподілу повітря в ШВМ за методом прямих. При такому підході кожна гілка мережі моделюється окремим процесом. Кожний наступний крок моделювання мережі потребує завершення всіх процесів, запущених на попередньому кроці моделювання процесів в окремих гілках. Оскільки час моделювання однієї гілки залежить від кількості виконаних ітерацій, що прямо пропорційна кількості відрізків, на які розбивається гілка, то деякі процеси моделювання завершуються раніше за інших. Тому окремі процесори будуть простоювати певний час. Автор пропонує рішення цієї проблеми шляхом залучення до процесу моделювання вбудованих в сучасні процесори SIMD-засобів, що дозволяє отримати гібридну MIMD+SIMD-структуру вирішувача рівнянь. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити кількість ітерацій, що виконуються кожним процесом, що в свою чергу зменшує простій процесорів та прискорює загальний процес моделювання МО.

П'ятий розділ присвячено практичній реалізації запропонованих методів та експериментальним дослідженням. Тут представлено особливості практичної імплементації окремих модулів ПД ПОМС, а саме: візуальний додаток для створення, редагування та параметризації вихідних моделей мережеских об'єктів; модуль налаштування параметрів експерименту та передачі створеної моделі МО до підсистеми моделювання; модуль візуалізації результатів моделювання. Ці модулі разом з ПМ об'єднані в єдиний комплекс, який забезпечує проведення повного циклу моделювання МО. Імплементацію модулів здійснено мовою програмування C++ з використанням мультиплатформенної бібліотеки Qt, що надає ПД ПОМС можливість функціонувати в різних операційних системах.

Автором представлено програмну реалізацію запропонованого метода Diff для ССПОДК та результати експериментальних досліджень, проведених на різних моделях МО, які демонструють значну ефективність метода Diff щодо витрат оперативної пам'яті у порівнянні з методом Memento.

Автором також представлено результати експериментальних досліджень запропонованих алгоритмів обчислення параметрів потоку повітря Q та тиску P в гілках ШВМ з використанням спеціальних паралельних команд процесорів Intel, що реалізують SIMD-розширення SSE та AVX. Показано, що застосування таких алгоритмів значно прискорює виконання розрахунків параметрів гілок порівняно з послідовним алгоритмом.

3. Оцінка новизни наукових положень дисертації

1. Вдосконалено системну організацію діалогових засобів ПОМС шляхом об'єднання всіх підсистем такого середовища на основі підсистеми діалогу, що дозволяє експертам предметних областей максимально концентруватися на вирішенні важливих для них проблем.
2. Запропоновано універсальний формат представлення вихідної моделі МО у вигляді множини моделей даних: топології, візуалізації, параметрів. Кожна модель даних має уніфіковані методи доступу, що спрощує використання даних наявними підсистемами ПОМС.
3. Запропоновано новий метод реалізації стека скасування та повтору останніх дій користувачів, що дозволяє заощадити ресурси оперативної пам'яті при його використанні під час побудови користувачами вихідних моделей мережеских об'єктів.
4. Вдосконалено паралельний MIMD-вирішувач рівнянь газодинамічної моделі ШВМ шляхом включення в його структуру SIMD-складової та застосування наявних апаратних ресурсів сучасних процесорів, а саме, SSE-розширення. Імплементация такого гібридного MIMD+SIMD-вирішувача, дозволяє зменшити кількість обчислювальних ітерацій та час простою процесорів, а також прискорити процес моделювання.

4. Практичні результати роботи

1. Реалізовано окремі модулі ПД, що забезпечують побудову, редагування та параметризацію вихідних моделей ПОМС, налаштування та проведення експериментів, використання інтерфейсу з підсистемою моделювання та візуалізацію отриманих результатів.
2. Програмно реалізовано метод Diff побудови стека скасування та повтору останніх дій користувачів. Застосування програмного коду метода Diff дозволило значно зменшити витрати оперативної пам'яті обчислювального ресурсу (у порівнянні з відомим методом Memento – на 95%). Крім того, отриманий код може бути використаний в розробках моделей об'єктів іншої предметної області без значних змін, що відрізняє його від відомих імплементаций метода Command.
3. Реалізовано SIMD-алгоритм моделювання динаміки розподілу повітря в окремих гілках ШВМ методом прямих з застосуванням SSE- та AVX-

інструкцій (“intrinsic”). При цьому збільшено швидкість обчислення гілок на 200% (таку оцінку отримано за результатами проведених експериментів).

4. Реалізовано мультиплатформенний додаток-редактор графів МО, що дозволяє візуально будувати та параметризувати вихідні моделі МО.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі Донецького національного технічного університету під час викладання дисциплін «Паралельні та розподілені обчислення» та «Моделюючі середовища комп'ютерних систем».

5. Основні недоліки дисертації, оцінка її змісту й оформлення

Основними недоліками роботи є такі:

1. Аналізуючи складність такого мережевого динамічного об'єкта, як ШВМ, автор на сторінці 13 відмічає «сильний взаємозв'язок між аеро- і газодинамічними ... процесами» і, таким чином, протиставляє ці процеси, хоча добре відомо, що поняття «газодинамічний процес» є узагальненням поняття «аеродинамічний процес».
2. Представлення математичної моделі ШВМ на сторінках 14 – 15 є неповним, оскільки не містить опису процесів на зовнішніх границях ШВМ та на границях спряження об'єктів такої мережі між собою та не містить опис початкового стану газодинамічного процесу. Крім того, в моделі не відображено структуру та властивості багатокomпонентного газу і їх вплив на динаміку процесів в ШВМ.
3. При розгляді питань, пов'язаних з розробкою ПОМС для вирішення завдань з управління ШВМ, автор на сторінках 37, 39 – 41, 43, 45, 47, 51, 55, 70, 76 безпосередньо або опосередковано вказує на можливу наявність помилок в початкових даних та на необхідність їх усунення шляхом організації взаємодії експерта-користувача з ПОМС. Слід зазначити, що організація такої взаємодії не є конструктивним вирішенням проблеми забезпечення адекватності моделі газодинамічним процесам, що відбуваються. Для цього необхідно вирішувати проблеми спостереження за процесами в ШВМ, тобто аналізувати існуючу систему вимірювання даних і на її основі формулювати обернені задачі з ідентифікації параметрів моделі та її топології.
4. На сторінках 105 та 111 автор непослідовно користується термінами «патерн» і «метод» реалізації стека скасування останніх дій.
5. На сторінці 114 роботи математична модель ШВМ представлена автором в дискретній формі з параметрами дискретизації газодинамічних процесів в часі і просторі. Проте в роботі ніде не зазначено як вибираються значення цих параметрів в ПОМС.