

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Кузьмича Валентина Анатолійовича

на тему «Методи та засоби математичного моделювання руху рідин з
використанням машинного навчання»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології
за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія

Актуальність теми дисертації

Моделювання руху рідин – це ключовий аспект в ряді наукових, інженерних та промислових областей, таких як гідродинаміка, енергетика, екологія та багато інших. З огляду на постійний розвиток технологій та потребу в удосконаленні процесів, виникає необхідність у нових підходах до моделювання руху рідин. Актуальність використання машинного навчання в даній сфері полягає у тому, що традиційні методи моделювання руху рідин можуть бути обмеженими. Машинне навчання дозволяє автоматизувати та оптимізувати процес моделювання, використовуючи великі обсяги даних та алгоритми, що можуть адаптуватися до складних умов. Одним з ключових нововведень у використанні машинного навчання в моделюванні руху рідин є можливість прогнозування та аналізу різноманітних сценаріїв в реальному часі. Моделі, треновані на великій кількості даних, здатні виявляти складні зв'язки та враховувати різноманітні фактори, такі як турбулентність, втрати енергії, та інші неочевидні впливи. Ще одним важливим фактором є здатність машинного навчання пристосовуватися до змінних умов та враховувати невизначеності в процесі моделювання. Це робить моделі більш гнучкими та придатними для використання в різних областях, де умови можуть різнитися. Застосування машинного навчання в моделюванні руху рідин також дозволяє ефективно використовувати великі обсяги даних, зокрема з вимірювань та спостережень в реальному часі. Це сприяє покращенню точності та достовірності моделей, що є критичним у вирішенні складних завдань, таких як прогнозування стихійних явищ, оптимізація роботи гідроенергетичних установок та вирішення проблем забруднення водних об'єктів. Отже, використання машинного навчання у моделюванні руху рідин представляє собою перспективний напрямок, який дозволяє покращити ефективність та точність прогнозування різноманітних гідродинамічних процесів.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

Запропоновано дворівневий метод моделювання руху рідини за допомогою решітчастої моделі Больцмана і згорткової нейронної мережі, що використовується для уточнення значень поля швидкостей на основі моделювання розв'язку рівняння Пуассона, який відрізняється від відомих методів тим, що зменшує час моделювання.

Набув подальшого розвитку метод решітчастої моделі Больцмана за рахунок методу розпаралелювання на основі підходу domain decomposition та використання модифікованої рівноважної функції розподілу на основі мінімізації дискретної ентропії, яка відрізняється від відомих методів кращою безумовною лінійною стабільністю моделювання.

Набув подальшого розвитку метод моделювання розв'язку рівняння Пуассона для отримання розподілу тиску з подальшим його використанням для корекції поля швидкості при моделюванні нестисливих рідин, на основі модифікованої нейронної мережі, що враховує геометрію обчислювального простору, який відрізняється від відомих методів можливістю обробки складних обчислювальних областей та меншим часом обчислення.

Запропоновано адаптацію дворівневого методу моделювання руху рідини для використання на спеціальному обчислювальному пристрої, яка відрізняється тим, що забезпечує прискорення обчислень для розробленої нейронної мережі при моделюванні розв'язку крайової задачі на основі рівняння Пуассона для тиску.

Достовірність отриманих наукових результатів досліджень та висновків забезпечується систематичним аналізом отриманих результатів експериментів, використанням визнаних методів дослідження та врахуванням наукових стандартів. Наведені у роботі наукові положення обґрунтовані та мають у своїй основі фактичні дані, що представлені у роботі в графічному та табличному виглядах.

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 Кузьмича Валентина Анатолійовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «123 – Комп'ютерна інженерія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Комп'ютерна інженерія».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Згорткові нейронні мережі».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кузьмича Валентина Анатолійовича 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.

Матеріал дисертації викладено логічно та послідовно. Стиль мовлення автора відзначається чіткістю, а використання загальноприйнятої термінології сприяє зрозумілості й універсальності тексту.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 213 сторінок.

У вступі розглядається актуальність дисертаційного дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Формулюється мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження, наукова та практична новизна отриманих результатів. Приводяться відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації.

У першому розділі проведено аналіз наукової літератури, присвяченої темі досліджень, в якому розглянуті різні методи моделювання руху рідин. Особливу увагу приділено методам, що базуються на рівняннях Нав'є-Стокса, LBM та машинному навчанню. Проведено детальний аналіз історії розвитку цих методів та визначено їхні загальні переваги та недоліки. Також розглянута література, пов'язана з методами розв'язання рівняння Пуассона, яке є ключовим у всіх згаданих підходах. На підставі цього аналізу сформульовано завдання дисертаційного дослідження: розробити дворівневий метод моделювання руху рідини, використовуючи LBM та машинне навчання.

У другому розділі надається огляд решітчастої моделі Больцмана, її місця в контексті рівнів абстракції опису рідини та теоретичного обґрунтування можливості використання методу LBM для моделювання руху рідин. Також розглянуті та описані різноманітні чисельні схеми, механізми встановлення початкових та граничних умов у методі LBM, особливості задання притоку та витоку рідини, а також умови зворотного відображення, які відтворюють взаємодію потоку рідини з твердим тілом. Детально описана модифікована рівноважна функція розподілу, що ґрунтується на мінімізації дискретної ентропії та забезпечує безумовну лінійну стабільність моделювання. Також

висвітлено важливість уточнення поля швидкості за допомогою рівняння Пуассона для тиску при моделюванні руху нестисливих рідин методом LBM.

В третьому розділі дисертації досліджено використання нейронних мереж для моделювання розв'язку крайової задачі на основі рівняння Пуассона. Відзначено, що нейронні мережі, завдяки їхній здатності задавати складні функції, є перспективним інструментом. Також обговорено ітераційні чисельні методи для вирішення систем алгебраїчних рівнянь, які використовуються для створення навчальних та тестових датасетів для нейронних мереж. В розділі розглянуті різні шари та функції активацій у штучних нейронних мережах, спрямовані на досягнення необхідних результатів.

У четвертому розділі дисертації представлено дворівневий метод моделювання руху рідини, використовуючи решітчасту модель Больцмана та згорткову нейронну мережу. Описана структура нейронної мережі для моделювання розв'язку крайової задачі на основі рівняння Пуассона та детально розглянутий алгоритм дворівневого методу, що включає модифіковану рівноважну функцію розподілу. Розроблений паралельний алгоритм на основі domain decomposition, а також оптимізована нейронна мережа для апаратного прискорення за допомогою прискорювача NPU. Тестування методу проведено за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення.

У п'ятому розділі дисертації проведено аналіз результатів моделювання руху рідин з використанням розробленого дворівневого методу, реалізованого в тестовому програмному забезпеченні. Експериментальні висновки підтверджують здатність цього методу забезпечувати нестисливість рідини порівняно зі звичайним методом LBM. Також досліджена точність нейронної мережі порівняно з чисельним методом, виявлено взаємну відповідність між ними, а також проаналізована обчислювальна швидкість розробленого методу та вплив використання різних апаратних прискорювачів на швидкість обчислень.

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 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у науковому виданні, включеному на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У п. 4.2. наведено опис алгоритму дворівневого методу моделювання руху рідини (С. 102). Доцільно було для кращого сприйняття доповнити алгоритм схемою. Аналогічне зауваження до п. 4.3., в якому описано розроблений паралельний метод моделювання руху рідини на основі LBM.

2. У розділі 4 (С. 101) в якості функції втрат в задачі регресії для моделі нейронної мережі обрано середньоабсолютну помилку, але не зазначено її переваги відносно середньоквадратичної функції та функції втрат Хьюберта.

3. На сторінці 100 дисертаційної роботи наведено перелік відповідних параметрів навчання нейронної мережі, однак відсутнє обґрунтування, чому вони саме такі.

4. При дослідженні обчислювальної ефективності розробленого дворівневого методу моделювання руху рідини (п. 5.3) зазначено, що він повільніший від звичайного методу LBM, а прискорення від 6,05 до 13,76 разів досягається за рахунок використання нейронної мережі. Однак не зазначено, чи достатньо отриманих показників прискорення для використання запропонованого методу у системах реального часу.

5. В тексті дисертації трапляються орфографічні та пунктуаційні помилки, описки редакційного характеру.

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

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кузьмича Валентина Анатолійовича на тему «Методи та засоби математичного моделювання руху рідин з використанням машинного навчання» 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 галузі знань «Інформаційні технології». 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 Кузьмич Валентин Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «12 – Інформаційні технології» за спеціальністю «123 – Комп'ютерна інженерія».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри комп'ютерних
інформаційних технологій,
Національний авіаційний університет,
доктор технічних наук, професор

A. Savchenko Аліна САВЧЕНКО



Підпис гр. *Савченко А*
з а с в і д ч у ю
Вчений секретар
Національного авіаційного університету

« 26 » 01 2024 року

М. Мелешкин