

РЕЦЕНЗІЯ

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.

Удосконалення методів та засобів математичного моделювання для критичних галузей економіки було ї є актуальною задачею. Робота Валентина Кузьмича присвячена впровадженню методології машинного навчання з елементами штучного інтелекту в складну проблематику, яка, класично, розв'язувалась із залученням наближених методів розв'язку нелінійних задач. З урахуванням зазначеного вважаю представлену роботу актуальною.

Наукова новизна отриманих результатів:

запропоновано дворівневий метод моделювання руху рідини з використанням решітчастої моделі Больцмана і згорткової нейронної мережі, 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;

удосконалено метод моделювання розв'язування рівняння Пуассона для отримання розподілу тиску з подальшим його використанням для корекції поля швидкості при моделюванні нестисливих рідин, на основі модифікованої нейронної мережі.

запропоновано адаптацію дворівневого методу моделювання руху рідини для використання на спеціальному обчислювальному пристрої, яка забезпечує прискорення обчислень для реалізованої нейронної мережі при моделюванні розв'язку крайової задачі на основі рівняння Пуассона для тиску

Практична цінність роботи.

Розроблений метод моделювання руху нестисливих рідин може бути застосовано в сфері медицини, технологій хімічних виробництв тощо де важливо реалізовувати оперативні розрахунки з високою продуктивністю обчислень. Метод дозволяє моделювати рух рідин з довільним розташуванням твердого тіла та різноманітними граничними умовами притоку та витоку рідини. Розроблений метод може бути прискорений за допомогою різних типів апаратних прискорювачів, таких як GPU та NPU.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Проблематикою дисертаційної роботи є розв'язання науково-прикладного завдання з підвищення ефективності математичного моделювання руху нестисливих рідин за нелінійною моделлю Больцмана із впровадженням згорткової нейронної мережі.

За своїм змістом представлена дисертація повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «123 – Комп'ютерна інженерія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Комп'ютерна інженерія», зокрема в аспекті систем та засобів оброблення великих даних і штучного інтелекту.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям розвитку методів і моделей побудови згорткових нейронних мереж.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кузьмича Валентина 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 державною українською мовою та має класичну структуру, логічну єдність складових та якісно відображає описані ідеї, рішення, результати. Текст дисертації складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 213 сторінок. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

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 досить ґрунтовний аналіз відомих підходів з тематики досліджень. Розглянуті різні методи моделювання руху рідини, наведено їх переваги та недоліки. Визначено завдання та часткові наукові задачі досліджень.

У другому розділі подається опис решітчастої моделі Больцмана, розглядається її місце в абстрактному описі рідини та теоретично обґрунтовується можливість використання методу LBM для моделювання руху

рідин. Розглядаються різні чисельні схеми та механізми встановлення початкових та граничних умов у методі LBM. Описано модифіковану рівноважну функцію розподілу, яка базується на мінімізації дискретної ентропії та забезпечує лінійну стабільність моделювання. Обґрунтовано важливість уточнення поля швидкості за допомогою рівняння Пуассона.

Третій розділ присвячено використанню нейронних мереж для моделювання розв'язку крайової задачі з рівняння Пуассона. Зазначено, що нейронні мережі мають потенціал моделювати складніші функції порівняно з традиційними методами. Також розглянуті ітераційні чисельні методи для розв'язання систем алгебраїчних рівнянь як засіб генерації навчальних та тестових датасетів для нейронних мереж. Висвітлені різні шари та функції активацій у штучних нейронних мережах для досягнення визначених результатів.

У четвертому розділі запропоновано дворівневий метод моделювання руху рідини, використовуючи решітчасту модель Больцмана та згорткової нейронної мережі. Представлено структуру нейронної мережі для крайової задачі на основі рівняння Пуассона, описано генерацію тренувального датасету та особливості корекції значень поля швидкості в методі LBM. Розроблено паралельний алгоритм domain decomposition для дворівневого методу та оптимізована нейронна мережа для прискорення на пристроях NPU. Тестування виконано за допомогою спеціального програмного забезпечення.

В п'ятому розділі проведено аналіз результатів моделювання руху рідин за допомогою розробленого дворівневого методу, який втілений в тестовому програмному забезпеченні. Детально досліджена точність нейронної мережі порівняно з чисельним методом, показана їх взаємна відповідність. Проаналізовано обчислювальна складність розробленого підходу та вплив використання різних апаратних прискорювачів на швидкість обчислень.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача: 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. Результати дисертації апробовані на 4 наукових фахових конференціях. Наукові результати отримані та подані в дисертаційній роботі у повному обсязі висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки, рекомендації та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В першому розділі згадуються фізико-інформовані нейронні мережі як клас моделей машинного навчання, які використовуються для моделювання фізичних явищ. Було б доцільно збільшити огляд цього класу моделей.
2. В розділі 2 наводиться класифікація решітчастих моделей. Бажано було б навести переваги та недоліки кожної з описаних моделей.

3. Автор досліджує точність та швидкодію лише однієї архітектури нейронної мережі, що використовується для моделювання розв'язку крайової задачі на основі рівняння Пуассона для тиску. Було б бажано показати результат роботи для інших архітектур нейронних мереж.

4. В розділі 5 були описані результати моделювання середовищ, моделі яких наближені до реальних. Доцільним було би показати результати моделювання інших типах середовищ, не тільки біологічних.

5. В тексті дисертації мають місце поодинокі помилки: в словах: «недоїлком» (стор.26), «в макроскопічній масштабі» (стор. 36), «роміром» (стор. 39), пунктуація.

Висловлені зауваження та рекомендації не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів і 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 з дотриманням принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує конкретне науково-прикладне завдання, що має істотне значення для сфери інформаційних технологій. 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».

Рецензент:

Професор кафедри обчислювальної техніки,
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
доктор технічних наук, професор



«26» січня 2024 року