

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Трочуна Євгенія Володимировича

на тему «Метод гібридизації класичних та некласичних обчислень

для завдань штучного інтелекту»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 - Інформаційні технології

за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації.

Сучасний розвиток інформаційних технологій характеризується стрімким зростанням складності та масштабів задач, що вирішуються із застосуванням методів штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж. Розширення сфери застосування таких систем супроводжується зростанням обсягів даних, що підлягають обробці, а також ускладненням архітектур самих моделей. Це, у свою чергу, обумовлює постійне зростання потреб в обчислювальних ресурсах та підвищує навантаження на енергетичну інфраструктуру обчислювальних центрів. Забезпечення стабільної, високопродуктивної та енергозберігаючої роботи таких систем набуває особливої актуальності в контексті задач, що потребують обробки інформації у режимі реального часу, де навіть незначні затримки можуть призводити до суттєвих негативних наслідків.

На фоні зазначених викликів, дедалі більшої актуальності набувають дослідження, спрямовані на пошук нових концептуальних підходів до організації обчислювальних процесів. Одним із таких напрямів є інтеграція квантових обчислень у процеси машинного навчання. Квантові комп'ютери, використовуючи явища суперпозиції та квантової заплутаності, демонструють потенційну здатність до істотного прискорення виконання низки обчислювально складних задач. Крім того, завдяки принципово іншій природі квантових обчислювальних процесів, з'являється можливість зниження енергоспоживання при виконанні обчислень.

Особливо перспективним є напрям створення гібридних квантово-класичних нейронних мереж, які поєднують можливість залучення найновіших та найефективніших класичних алгоритмів та квантових пристроїв. Такий підхід дозволяє здійснювати оптимальний розподіл обчислювальних навантажень відповідно до характеру задач, що вирішуються, забезпечуючи як ефективність виконання алгоритмів, так і раціональне використання енергетичних та апаратних ресурсів. У зв'язку з викладеним, дослідження

ефективних моделей гібридних квантово-класичних нейронних мереж, дослідження їхньої продуктивності, стійкості та потенційних переваг в різних класах задач набуває особливої наукової та практичної значущості, визначаючи актуальність проведення комплексних досліджень у даній сфері.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

Вперше запропоновано комплексний метод гібридизації класичних та квантових обчислень, який на відміну від існуючих може бути направлений на збільшення швидкодії моделей штучного інтелекту або на збільшення точності роботи моделей залежно від вимог задачі за рахунок залучення квантових обчислень у різних частинах гібридних нейронних мереж.

Вперше запропоновано метод побудови гібридних систем штучного інтелекту, який на відміну від існуючих дозволяє залучати незмінні класичні сучасні моделі та дозволяє досягнути вищих значень точності роботи моделей порівняно з альтернативними підходами за рахунок залучення квантових обчислень у якості першого квантово-згорткового шару гібридних моделей.

Набув подальшого розвитку метод використання трансферного навчання у контексті гібридних квантово-класичних нейронних мереж, що дозволяє зменшити обсяг ресурсів, потрібних для підготовки моделі та підвищити точність роботи гібридних моделей штучного інтелекту.

Набув подальшого розвитку метод штучного розширення різноманітності даних для вирішення задачі класифікації зображень, що дозволяє підвищити стійкість по відношенню до невідомих даних гібридної моделі штучного інтелекту за рахунок використання квантово-згорткового штучного розширення різноманітності даних і використання результатів роботи квантового пристрою в якості додаткових каналів вхідних даних.

Результати було продемонстровано на прикладі практичної задачі класифікації пошкоджень в зонах стихійних лих та в контексті використання систем штучного інтелекту загального застосування.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом професора кафедри обчислювальної техніки, доктора фізико-математичних наук, Гордієнко Юрія Григоровича. Запропоновані у дисертації методи були використані у науково-дослідній роботі за грантом Національним Фондом Досліджень України «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди», реєстраційний номер гранту: 2022.01/0199.

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 Трочуна Є.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 - Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інженерія програмного забезпечення. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Гібридні нейронні мережі». Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Трочуна Є. В. 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 фаховою українською мовою.

Матеріал викладено послідовно та доступно, у науковому стилі мовлення із дотриманням сучасної загальноприйнятої термінології.

Дисертація складається з анотації, написаній українською та англійською мовами, вступу, 4 розділів основної частини, висновків, списку літератури із 117 джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 151 сторінку, з яких 149 сторінок основного тексту, 1 додаток на 2 сторінках, та містить 55 рисунків, 12 формул, 7 таблиць.

У вступі обґрунтована актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Сформульовані мета та завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, наукова та практична новизна отриманих результатів. Наведені відомості з апробації та публікації результатів дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

В першому розділі було розглянуто сучасний стан предметної області дослідження. Важливим елементом огляду предметної області є огляд сучасного стану квантового апаратного забезпечення. Іншим важливим аспектом, що був розглянутий в межах першого розділу дисертаційної роботи, є сучасний стан систем штучного інтелекту. Також в першому розділі обґрунтовано важливість розробки методу гібридизації класичних та квантових обчислень для завдань штучного інтелекту.

В другому розділі було розглянуто основні конструкційні блоки квантової частини запропонованого методу гібридизації квантових та класичних

обчислень для побудови глибоких гібридних нейронних мереж – квантові операції та основні архітектури квантового пристрою, що пропонуються до застосування при розробці методу гібридизації. Для проведення експериментів з оцінки та апробації запропонованого методу гібридизації квантових та класичних обчислень було обрано задачу багатокласової класифікації зображень.

В третьому розділі дослідження було розглянуто 3 різні підходи з гібридизації глибоких згорткових нейронних мереж для вирішення задачі багато-класової класифікації зображень. Також було запропоновано комплексний метод гібридизації квантових та класичних обчислень для збільшення ефективності роботи систем штучного інтелекту, що базується на використанні одного з розглянутих підходів залежно від вимог задачі.

В четвертому розділі дослідження було проведено детальний аналіз розглянутих методів гібридизації квантових та класичних обчислень. Було проведено та детально описано достатню кількість експериментів для підтвердження висновків, зроблених в межах дисертаційного дослідження.

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 7 наукових публікацій, у тому числі: 3 статті у періодичних наукових фахових виданнях: 2 статті у виданнях, проіндексованих у базах WoS та Scopus, віднесених до Q2 відповідно до класифікації Journal Citation Reports, що відповідають зазначеним вимогам та 1 стаття в фаховому виданні категорії «Б»; 3 доповіді та тези на наукових конференціях та 1 стаття, що додатково відображає матеріали роботи.

Усі публікації здобувача мають високий науковий рівень, в них достатньо повно та всебічно описані головні наукові здобутки, що представлені у 3 та 4 розділах дисертації. Особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих у співавторстві та зарахованих за темою дисертації, є вагомим. В усіх публікаціях дотримуються принципи академічної доброчесності.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Експериментальна частина дослідження здійснена виключно в середовищі емуляції квантових обчислень. Такий підхід є обґрунтованим на поточному етапі, зважаючи на обмежений обчислювальний ресурс та черговий доступ до безкоштовних фізичних квантових процесорів, доступних через відкриті платформи. Водночас відсутність тестування на реальному квантовому

апаратному забезпеченні знижує ступінь практичної валідації результатів та обмежує їхню переносимість у реальні прикладні сценарії. Подальші дослідження мають бути спрямовані на поступову адаптацію та перевірку запропонованих моделей на фізичних квантових пристроях із урахуванням їхньої апаратної специфіки, затримок, топології кубітів і впливу шуму.

2. У тексті дисертації без деталізованих пояснень використано значну кількість різноманітних специфічних термінів та визначень, що може ускладнити сприйняття процедури дослідження фахівцями, які не спеціалізуються безпосередньо в межах відповідної предметної області.

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 Трочуна Євгенія Володимировича на тему «Метод гібридизації класичних та некласичних обчислень для завдань штучного інтелекту» 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 Трочун Євгеній Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 - Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

Професор кафедри системного
програмування і спеціалізованих
комп'ютерних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
доктор технічних наук, професор

Ігор ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ

М.П.

« ____ » _____ 20__ року

апаратному забезпеченні знижує ступінь практичної валідації результатів та обмежує їхню переносимість у реальні прикладні сценарії. Подальші дослідження мають бути спрямовані на поступову адаптацію та перевірку запропонованих моделей на фізичних квантових пристроях із урахуванням їхньої апаратної специфіки, затримок, топології кубітів і впливу шуму.

2. У тексті дисертації без деталізованих пояснень використано значну кількість різноманітних специфічних термінів та визначень, що може ускладнити сприйняття процедури дослідження фахівцями, які не спеціалізуються безпосередньо в межах відповідної предметної області.

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 Трочуна Євгенія Володимировича на тему «Метод гібридизації класичних та некласичних обчислень для завдань штучного інтелекту» 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 Трочун Євгеній Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 - Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

Професор кафедри системного
програмування і спеціалізованих
комп'ютерних систем,
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
доктор технічних наук, професор

М.П.

Підпис гр. **Ігор ТЕРЕЙКОВСЬКИЙ**
ПАСВІДЧУЮ
Відділ кадрів та діловодства
2024.06.15
року

