

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Вдовиченка Руслана Олександровича «Розріджено-розподілене подання структур даних у нейронних мережах», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 11 Математика та статистика зі спеціальності 113 Прикладна математика

Актуальність дисертаційної роботи

Розвиток систем штучного інтелекту є характерним для сучасного наукового прогресу. Задачі для систем штучного інтелекту виникають у різних областях науки та підприємництва. Серед різних напрямків розвитку штучного інтелекту слід виділити біологічну пам'ять. Пам'ять живих істот має ряд властивостей, які є необхідними для повноцінного штучного інтелекту: автономність та неперервність навчання; робота із структурованими даними (ієрархічними, семантичними тощо) ; абстрагування; асоціативність. У дослідженні характеристик пам'яті важливі результати були досягнуті феноменологічними методами. Важливими класичними досягненнями є розріджено-розподілена пам'ять (SDM) Канерви та бінарні розріджено-розподілені подання (BSDR).

Актуальність, мета та завдання дисертації автором сформульовані вірно. Вони полягають, перш за все, у побудові нової моделі розріджено-розподіленої пам'яті.

Додатково, природньої характеристикою моделей пам'яті є їх ємність. Ємність описує рівень практичності моделі відносно реальних задач. Вибір автором Compressive Sensing для поєднання SDM та BSDR зумовлений саме питанням збільшення ємності.

Виходячи з вищевикладеного, автором була поставлена наступна **мета** роботи: розробити, обґрунтувати та експериментально перевірити гібридну модель розріджено-розподіленої пам'яті для подання структурованих даних.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Висока актуальність дисертаційного дослідження підтверджується також тим, що вона виконана за декількома темами, що фінансувалися не тільки власними коштами виконавців, але й МОН України:

- науково-дослідній роботі, яка фінансувалася за рахунок державного бюджету Міністерства освіти і науки України за 2017-2019 рр. «Розробити методичне забезпечення оцінювання програмного забезпечення, що

реалізує схеми електронної ідентифікації громадян (№ держреєстрації 0117U000334);

- науково-дослідній роботі, яка фінансувалася за рахунок державного бюджету Міністерства освіти і науки України на 2019-2020 рр. «Розробка методів підвищення продуктивності паралельних обчислень з інтенсивним введенням-виведенням даних» Цільового наукового проекту НАН України «Геофізичні дослідження літосфери зони зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ України у зв'язку з перспективами нафтогазоносні (TESZ)» (№ держреєстрації 0119U002461);
- науково-дослідній роботі, яка фінансувалася за рахунок державного бюджету Міністерства освіти і науки України на 2020 р. «Розроблення програмних засобів побудови та візуалізації складних геолого-геофізичних моделей літосфери» Цільового наукового проекту НАН України «Геофізичні дослідження літосфери зони зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ України у зв'язку з перспективами нафтогазоносні (TESZ)» (№ держреєстрації 0120U103362);
- науково-дослідній роботі, яка фінансувалася за рахунок державного бюджету Міністерства освіти і науки України на 2021 р. «Розробка інтерактивного веб-порталу програми для презентації результатів досліджень» Цільового наукового проекту НАН України «Геофізичні дослідження літосфери зони зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ України у зв'язку з перспективами нафтогазоносні (TESZ)» (№ держреєстрації 0121U110606).
- науково-дослідній роботі, яка фінансувалася за рахунок державного бюджету Міністерства освіти і науки України на 2021 р. «Розробити інтелектуальну систему автоматизованого оцінювання особливостей пухлинних тканин за мікрофото» Цільової програми наукових досліджень НАН України «Математичне моделювання у міждисциплінарних дослідженнях процесів і систем на основі інтелектуальних суперкомп'ютерних, ґрид- і хмарних технологій» (№ держреєстрації 0112U110690).

Наукова новизна отриманих результатів

Найважливішими результатами, отриманими в ході дисертаційного дослідження, на наш погляд, є: створення нової гібридної моделі розріджено-розподіленої пам'яті CS-SDM, яка є наслідком інтеграції двох різних підходів до моделювання пам'яті. Ємність, ефективність та інші характеристики моделі досліджено як теоретично, так і експериментально. Важливо

відзначити, що у дисертаційному дослідженні вперше було застосовано Compressive Sensing для побудови моделі пам'яті. Запропонована модель є першою штучною нейромережею, що має ємність, практично придатну для збереження структурованих даних (ієрархічних, пар ключ-значення, семантичних).

Практичне значення отриманих результатів

Побудована в ході дисертаційного дослідження гібридна модель розріджено-розподіленої пам'яті CS-SDM може ефективно працювати із структурованими даними за рахунок своєї ємності. CS-SDM можна застосовувати для вирішення різних проблем штучного інтелекту. Також, модель можна використовувати як складову нейронних мереж у машинному навчанні. CS-SDM може мати застосування у різних галузях життєдіяльності людини: оцінці медичних діагнозів, генеруванні візуального та аудіоконтенту, семантичному пошуку, робототехніці тощо. Значущою складовою дисертаційної роботи є програмна бібліотека з відкритими кодами, що реалізує CS-SDM на графічних процесорах NVIDIA CUDA і також містить реалізації класичних конструкцій SDM Канерви і Джекела, адаптованих для роботи із розрідженими векторами.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Достовірність отриманих результатів зумовлюється відповідністю методів меті і завданням роботи, достатнім обсягом і репрезентативністю емпіричного матеріалу, коректністю статистичної обробки даних.

Важливою в цьому контексті є розроблена у дисертаційній роботі програмна бібліотека для роботи із CS-SDM та класичними моделями розріджено-розподіленої пам'яті на графічних прискорювачах NVIDIA CUDA. Оскільки бібліотека має відкритий доступ, вона дає можливість незалежної перевірки результатів. Також, іншим науковці можуть користуватись нею у своїх дослідженнях.

Усі описані вище фактори забезпечують високий рівень наукової обґрунтованості положень, які розроблені в дисертаційній роботі. Додатково, у роботі є достатня кількість належним чином оформленого графічного і цифрового матеріалу, що дає можливість наочного уявлення про отримані результати.

Характеристика основних положень роботи

Дисертація складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних першоджерел. Список використаних джерел містить 119 найменувань, з них 109 – іноземних, що представлені в наукометричних базах Scopus та Web of Science, що свідчить про проведення аналізу літератури на високому сучасному світовому рівні.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено мету, завдання дослідження, предмет дослідження, об'єкт дослідження, методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, особистий внесок здобувача, подано відомості щодо апробації отриманих результатів та їх впровадження.

У першому розділі дисертації зроблено огляд літератури за темою дисертації. Розглянуто історію розвитку феноменологічних підходів до моделювання пам'яті, обговорено основні результати (розріджено-розподілена пам'ять Канерви, векторно-символьні архітектури, бінарні розріджено-розподілені подання). Проаналізовано базові принципи теорії стискаючих вимірювань.

У другому розділі сконструйовано гібридну модель розріджено-розподіленої пам'яті CS-SDM. Формально доведено, що CS-SDM задовольняє умови застосування стискаючих вимірювань. Наведено алгоритми операцій CS-SDM, визначено їх обчислювальну складність для різних випадків (послідовна та паралельна реалізація).

У третьому розділі обчислено ймовірнісні оцінки активації пам'яті для різної кількості фізичних комірок та різних довжин маски активації. Наведено та проаналізовано методику обчислювальних експериментів, продемонстровано результати. Окрема увага приділяється різним методам відновлення розріджених векторів, показано можливість для покращення результатів при використанні більш якісних алгоритмів розв'язання недовизначених систем лінійних рівнянь. Детально розглянуто випадки граничного стиснення та відновлення негомогенних векторів.

У четвертому розділі основну увагу автор приділяє на деталях програмної реалізації. Проведено аналіз платформи NVIDIA CUDA, її програмної моделі та типи пам'яті. Обґрунтовано використання NVIDIA CUDA для експериментів із CS-SDM. Наведено програмні коди реалізації операцій CS-SDM. Запропоновано метод оптимізації обчислювальних експериментів із великими пакетами векторів; використовується кешування розв'язків систем недовизначених лінійних рівнянь.

Повнота викладення матеріалів дисертації у роботах, які опубліковані автором

Результати дослідження опубліковано в 7 працях, при перерахунку за вимогами МОН – у 3 працях, з яких 3 – статті та матеріали доповідей, що проіндексовані у наукометричних базах Scopus, 3 – у фахових виданнях та у міжнародних виданнях. Крім того отримано 1 авторське свідоцтво на програмний продукт. Серед опублікованих праць 5 відображають основний зміст дисертації, 4 публікації апробаційного характеру.

Таким чином, в опублікованих роботах достатньо повно викладені питання, що аналізувалися в дисертації.

Дисертація написана грамотно, лаконічно, науково.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.

1. У третьому розділі деякі із наведених графіків не дають розуміння загальної динаміки якості роботи пам'яті CS-SDM залежно від щільності наповнення через недостатній діапазон кількості векторів.
2. Бракує наочного прикладу застосування CS-SDM до практичної задачі.
3. В роботі проводяться експерименти із адресами і даними довжини 600, у той час як відповідні параметри людського мозочку оцінюються у приблизно 30 млн. Було би доречно дослідити, як змінюється якість роботи запропонованої моделі зі зростанням довжини записаних векторів.

Але вказані зауваження мають дискусійний характер, не знижують наукової цінності роботи та не заперечують її наукових результатів, що у сукупності розв'язують важливе науково-прикладне завдання, мають істотне значення для науки та можуть бути використаними у практиці.

Висновок

Дисертаційна робота Вдовиченка Руслана Олександровича «Розріджено-розподілене подання структур даних у нейронних мережах» є самостійною і завершеною роботою на правах рукопису, яку виконано здобувачем особисто за актуальною темою з використанням адекватних методів дослідження. Робота характеризується єдністю змісту, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати проведених здобувачем досліджень, які мають наукову новизну, теоретичне та практичне

значення, свідчать про особистий внесок здобувача в науку та достатньо повно оприлюднені у наукових працях здобувача, за своєю актуальністю, науковою новизною отриманих результатів, теоретичним і практичним значенням. Дисертація відповідає спеціальності 113 – Прикладна математика та вимогам до оформлення дисертації, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки України № 759 від 31.05.2019) та п.10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 № 167 (із змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022), а її автор, Вдовиченко Руслан Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

Рецензент:

доктор фізико-математичних наук,
член-кореспондент НАН України
завідувач відділу методів індуктивного
модельовання та керування

Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова
Національної академії Наук України



Анатолій Гупал

Анатолій ГУПАЛ

Підпис	<i>А. Гупала</i>
З А С В І Д Ч У Ю	
Зав. канц.	<i>Анатолій Гупал</i>
ІК НАН України	