

## **ВІДГУК**

**офіційного опонента на дисертаційну роботу**

**Вдовиченка Руслана Олександровича на тему**

**«Розріджено-розподілене подання структур даних у нейронних мережах», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика**

### **Актуальність обраної теми**

Нинішній технологічний розвиток людства стає все більш інтегрованим із системами штучного інтелекту. В різних областях діяльності постають задачі, для вирішення яких потрібен штучний інтелект. Невід'ємною компонентою живого інтелекту є пам'ять. Пам'ять живих істот має чимало особливостей, бажаних для систем штучного інтелекту: здатність до абстракцій, відновлення за неповних шаблонів, асоціативність тощо.

Серед вимог до моделей пам'яті однією із найкритичніших є ємність. Ємність характеризує практичну цінність моделі при застосуванні до практичних задач. Існуючі конструкції пам'яті не мають достатньої для розв'язання реальних задач ємності.

Важливе місце у дослідженнях біологічної пам'яті посідають феноменологічні підходи. Серед результатів цих підходів окремо варто виділити розріджено-розподілену пам'ять (SDM) Канерви та бінарні розріджено-розподілені подання (BSDR).

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.** Наукові положення дисертаційної роботи, висновки, методичні рекомендації сформульовані достатньою мірою, обґрунтовані експериментальними даними і відповідають меті та завданням дослідження. Достовірність отриманих результатів забезпечується адекватністю методів меті і завданням роботи, достатнім обсягом і репрезентативністю емпіричного матеріалу, коректністю статистичної обробки даних.

**Теоретична і практична значущість результатів дослідження** полягає в конструкції та аналізі нової гібридної моделі розріджено-розподіленої пам'яті CS-SDM. Ця конструкція є інтеграцією двох різних методів моделювання пам'яті SDM та BSGR. Автором вперше використано стискуючі вимірювання (Compressive Sensing, CS) до побудови моделей пам'яті. CS-SDM є першою нейронною мережею, придатною для збереження структурованих та семантичних даних.

Такі характеристики CS-SDM дають їй практичне застосування для різних задач штучного інтелекту. За допомогою CS-SDM можна генерувати графічні дані, використовувати при медичному діагностуванні, у робототехніці тощо. Також, в ході дослідження автором було розроблено програмну бібліотеку для роботи із CS-SDM на платформі NVIDIA CUDA.

**Апробація результатів дисертації.** Варто зазначити, що результати досліджень, які викладені у дисертації, оприлюднені на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях і семінарах.

Результати дослідження опубліковано в 9 працях, при перерахунку за вимогами МОН – в 7 працях, з яких 3 – статті та матеріали доповідей, що проіндексовані у наукометричних базах Scopus, 3 – у фахових виданнях та у міжнародних виданнях, 1 авторське свідоцтво. Серед опублікованих праць 5 відображують основний зміст дисертації, 4 публікації апробаційного характеру.

**Оцінка змісту дисертації, її завершення в цілому.** Дисертаційну роботу викладено на 128 сторінках, вона складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних першоджерел (119 джерел, із яких 109 – іноземні). Робота проілюстрована 38 рисунками, 5 таблицями, 9 фрагментами програмного коду.

**Вступ** відображає стан наукової проблеми, її значущість, обґрунтування необхідності проведення дослідження, мету, завдання, об'єкт,

предмет і методи дослідження, наукову новизну, практичну значущість результатів та публікації.

У першому розділі «Огляд літератури за темою дисертації» проведено огляд наукових джерел, який розкриває проблематику галузі моделювання пам'яті живих організмів, аналізує наявні результати галузі, обговорює проблеми та недоліки існуючих рішень. Розглянуто феноменологічні підходи до моделювання пам'яті, в деталях проаналізовано класичні моделі розріджено-розподіленої пам'яті, векторно-символьні архітектури, розбризане кодування Канерви, розріджено-блокове кодування Сйодіна, кодвектори Рачковського, проаналізовано засади теорії стискаючих вимірювань, зокрема, Restricted Isometry Property та алгоритми розв'язання недовизначених систем лінійних рівнянь.

У другому розділі «Гібридна модель нейронної пам'яті CS-SDM» запропоновано модель розріджено-розподіленої пам'яті CS-SDM. Формально доведено відповідність CS-SDM вимогам стискаючих вимірювань і RIP. Сконструйовано алгоритми операцій CS-SDM, розглянуто їх обчислювальну складність у послідовному та паралельному випадках. Побудовано алгоритми постановки експериментів для пакетів векторів.

У третьому розділі «Обчислювальні експерименти» обчислено ймовірнісні оцінки активації пам'яті. Розглянуто результати обчислювальних експериментів із розрідженими векторами різної щільності. Показано простір для покращення рівня стиску за рахунок вибору кращих методів розв'язання недовизначених систем лінійних рівнянь. Розглянуто використання CS-SDM для обробки негомогенних векторів.

У четвертому розділі «Деталі програмної реалізації» детально розглядається платформа паралельних обчислень NVIDIA CUDA: мова програмування CUDA C/C++, типи пам'яті, програмна модель. Наведено аргументи на користь вибору платформи NVIDIA CUDA для обчислювальних експериментів із CS-SDM. Додано фрагменти програмного

коду реалізації операцій CS-SDM. Запропоновано метод оптимізації обчислювальних експериментів за рахунок використання кешу для результатів роботи алгоритмів розв'язку недовизначених систем лінійних рівнянь.

**Висновки** відповідають завданням дослідження та змісту основного тексту роботи.

Констатуючи високий науковий рівень виконаного дослідження, його безперечну теоретичну і практичну значущість, слід зауважити, що автору не вдалося уникнути певних недоліків у роботі, які переважно носять дискусійний характер:

1. Як предмет дослідження було б краще робити наголос на «моделі пам'яті у рамках феноменологічної парадигмі природньої...», ніж на «феноменологічної моделі пам'яті людини і тварини», що потребує окремої процедури перевірки адекватності моделі, а також формальної валідації та верифікації з залученням додаткової експертизи з суміжних галузей знань.

2. На графіках (Рис.3.1-18, 25-32) було б доцільно навести змінні та метрики по осях в тих самих позначеннях, в яких вони подані у формулах-визначеннях (стор.68-69).

3. В підрозділі "3.4 Відновлення негомогенних векторів" відсутні коментарі до отриманих результатів на графіках, не дано їх інтерпретацію та висновок, як це було зроблено в попередніх підрозділах.

4. Висновки до розділів 3,4 викладені здебільш в декларативному вигляді, що не зовсім відображає дослідницьку складову, яка безумовно присутня.

5. Нажаль по тексту присутні деякі одруківки, але це не заважає сприймати матеріал і не знижує семантичного уявлення роботи в цілому.

Проте, представлені зауваження не знижують загального враження від науково-теоретичного рівня проведеного дослідження, його актуальності та практичної значущості.

**Висновок про відповідність дисертації вимогам.** Дисертаційна робота Вдовиченка Руслана Олександровича на тему «Розріджено-розподілене подання структур даних у нейронних мережах», є самостійною, завершеною науково-дослідною роботою, яка за актуальністю, науковою новизною, практичним значенням, обсягом проведених досліджень відповідає вимогам «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 №44 від 12 січня 2022 року, а її автор заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика (за спеціалізаціями).

Рецензент:

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри обчислювальної техніки

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського»



Сергій СТРЕНКО