

## 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**

На сучасному етапі розвитку технологій спостерігається зростання впливу систем штучного інтелекту. Задача розробки систем штучного інтелекту з'являється у різноманітних галузях життєдіяльності. Одним важливим напрямком розвитку систем штучного інтелекту є моделювання пам'яті живих істот. До вимог відносно функціональності таких систем відносяться: робота із семантичними даними; автономність навчання, асоціативність, здатність до абстрагування та узагальнення. В рамках феноменологічних підходів найпомітнішими результатами у галузі є розріджено-розподілена пам'ять (SDM) Канерви та бінарні розріджено-розподілені подання (BSDR).

Таким чином, автор вірно сформулював актуальність, мету і завдання дисертації, що полягають, перш за все, у побудові гібридної моделі розріджено-розподіленої пам'яті.

Крім того, важливою вимогою до моделей пам'яті є їх ємність. Вона характеризує застосовність моделі до вирішення практичних задач із залученням мінімальної кількості обчислювальних ресурсів. Саме тому автор не випадково обрав Compressive Sensing в якості поєднуючої ланки між SDM та BSDR.

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 роботи**

Найбільш вагомими результатами, отриманими в дисертаційному дослідженні, на наш погляд, є наступні: створення нової моделі розріджено-розподіленої пам'яті CS-SDM, яка є наслідком інтеграції двох різних підходів до моделювання пам'яті. Ефективність та якісні характеристики моделі досліджено як із теоретичної точки зору, так і експериментально. Зокрема, у дисертаційному дослідженні вперше було запропоновано використання Compressive Sensing для моделювання пам'яті. Запропонована модель є першою штучною нейромережею, що має ємність, практично придатну для збереження структурованих даних, зокрема, семантики.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Запропонована в дисертаційній роботі модель розріджено-розподіленої пам'яті CS-SDM має ємність, що дозволяє ефективно працювати із структурованими даними; такі властивості дають можливість використовувати CS-SDM у різних задачах штучного інтелекту та як складової нейромережних моделей у машинному навчанні. Додатково, CS-SDM може мати застосування у суміжних із штучним інтелектом галузях: генерації контенту у соціальних мережах, семантичному пошуку, робототехніці, медичній діагностиці тощо. Однією із частин дисертаційної роботи є програмна бібліотека з відкритими кодами, що реалізує CS-SDM на графічних процесорах (на платформі 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 забезпечується адекватністю методів меті і завданням роботи, достатнім обсягом і репрезентативністю емпіричного матеріалу, коректністю статистичної обробки даних.

Особливо слід зазначити розроблену в ході дисертаційного дослідження програмну бібліотеку для роботи із CS-SDM та класичними конструкціями розріджено-розподіленої пам'яті на платформі NVIDIA CUDA. Відкритий доступ до цієї бібліотеки забезпечує умови незалежної перевірки отриманих результатів, а також дозволяє іншим науковцям використовувати її у своїх проектах.

Перечислені вище фактори забезпечують високий рівень наукової обґрунтованості положень, які розроблені в дисертації. Крім того, робота містить достатню кількість цифрового і графічного матеріалу, який оформлено належним чином, що дає можливість наочного уявлення про отримані результати.

### **Характеристика основних положень роботи**

Дисертаційна робота 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 обраної теми, 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 проведено огляд літератури за темою дисертації. Розглянуто розвиток феноменологічних підходів до моделювання пам'яті, основні результати та методи (розріджено-розподілена пам'ять Канерви, векторно-символьні архітектури, бінарні розріджено-розподілені подання). Обговорено базові принципи теорії стискаючих вимірювань.

У другому розділі наведено конструкцію гібридної моделі розріджено-розподіленої пам'яті CS-SDM, доведено її відповідність вимогам стискаючих вимірювань, побудовано алгоритми операцій CS-SDM, проаналізовано їх обчислювальну складність для випадків послідовної та паралельної реалізації.

У третьому розділі отримано ймовірнісні оцінки активації пам'яті для різної кількості нейронів та різних довжин маски активації, продемонстровано конструкцію обчислювальних експериментів, проаналізовано вхідні дані, наведено результати. Обговорено застосування різних методів відновлення розріджених векторів, продемонстровано простір для покращення результатів при залученні кращих алгоритмів пошуку розв'язку недовизначених систем лінійних рівнянь. Окрема увага автором приділяється випадкам граничного стиснення та відновленню негомогенних векторів.

У четвертому розділі автор зосереджується на деталях програмної реалізації. Обґрунтовано використання платформи паралельних обчислень NVIDIA CUDA, проаналізовано її програмну модель, нюанси мови програмування CUDA C/C++. Наведено програмні коди реалізації операцій CS-SDM. Запропоновано метод оптимізації обчислювальних експериментів із великими пакетами векторів за рахунок кешування результатів відновлення розріджених векторів.

### **Повнота викладення матеріалів дисертації у роботах, які опубліковані автором**

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.

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

Дисертація написана грамотна, лаконічно, науково.

### **Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації.**

1. Подання результатів могло б бути яскравішим і переконливішим, якби були включені змістовні приклади кодування, стиснення, запам'ятовування та розкодування даних про математичний або фізичний об'єкт, своєрідна реалізація схеми малюнка 2.1.
2. Зважаючи на місце роботи дисертанта, можна було б очікувати реалізації CS-SDM не тільки на GPU, але і на кластері СКІТ в цілому.
3. У роботі порівняно мало посилань на роботи вітчизняних вчених як кібернетиків, так і фізіологів. Наприклад, немає посилань на роботи професора Кириченка Миколи Федоровича щодо вирішення недовизначених систем лінійних рівнянь та їх застосування у теорії управління та кібернетиці.
4. Дисертація грамотно і добре оформлена, є і незначні огріхи, наприклад, Стор. 28. Що таке  $v_i$  в (1.2)? Стор. 29, рис.1.2. Не зрозуміло, як отримано рядок 3а. Стор. 50. Що таке умова RIP? Її немає у списку скорочень.

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,  
провідний науковий співробітник відділу  
математичних методів дослідження операцій  
Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова  
Національної академії наук України



Володимир ГОРКІН

