

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора,
завідувача кафедри кібербезпеки
Західноукраїнського національного університету
Яцківа Василя Васильовича
на дисертаційну роботу Лобачева Івана Михайловича
на тему

«Моделі та методи підвищення ефективності розподілених трансдюсерних мереж
на основі машинного навчання та периферійних обчислень»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки
галузь знань 12 – Інформаційні технології

Актуальність обраної теми.

Актуальність обраної теми зумовлена зростаючою потребою зміщення парадигми Інтернету - речей для низки практично важливих застосувань (наприклад, розумні міста, розумні будівлі, системи підтримки здоров'я людини тощо) в бік енергозбереження, підвищення рівня безпеки та контролю. Основу систем побудованих за парадигмою Інтернету-речей складають розподілені мережі, що містять у вузлах безліч трансдюсерів (сенсорів і актуаторів) та мікропроцесорних блоків різної потужності. Останні, як правило, призначені для вирішення задач управління та обробки даних. Слід зазначити, що вимоги до розгортання розподілених трансдюсерних мереж (PTM) та потреби обробки великих обсягів мультисенсорних даних у них вступають у суперечку з вимогами енергозбереження, що істотно обмежує застосування систем Інтернету-речей.

Для вирішення цієї суперечки використовуються нейроні мережі. Їх інтеграція у масштабні трансдюсерні системи дозволяє значно знизити вимоги до ресурсоемності системи. Впровадження технологій машинного навчання завдяки сучасним технологіям, спеціалізованого чіпу – ASIC, та можливості вільного створювання програмних бібліотек відповідних нейромережових моделей дозволяє винести обчислення на периферію і одночасно знизити кількість витрат ресурсів на рішення завдань з аналізу мультисенсорних даних такого ж обсягу та тієї ж складності.

Тому я вважаю, дисертаційна робота Лобачева Івана Михайловича, яка присвячена розробці моделей та методів підвищення ефективності розподілених трансдюсерних мереж на основі машинного навчання та периферійних обчислень, є актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

При вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач, створенні наукових положень, висновків та рекомендацій здобувачем застосовані дані, які одержані з літературних джерел, з результатів аналізу сучасного стану та перспектив розвитку як розподілених трансдюсерних мереж для сучасних систем на основі технологій Інтернету-речей, так і сучасного стану та перспектив розвитку технологій машинного навчання. Тому створені наукові положення, висновки та рекомендації можна вважати достатньо обґрунтованими.

Крім того, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується результатами моделювань, даними експериментальних досліджень та практичними результатами, які підтверджуються наведеними довідками практичних випробувань та результатами впровадження із позитивним ефектом.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, отриманих у дисертації, підтверджена результатами теоретичних та експериментальних досліджень, коректним застосуванням математичного апарату, сучасних методів наукового моделювання, а також впровадженням запропонованих рішень у розподілені трансдюсерні мережі у системах, побудованих на парадигмі Інтернету-речей.

Наукова новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертаційна робота вирішує актуальну науково-практичну задачу підвищення ефективності розподілених трансдюсерних мереж на основі застосування технологій машинного навчання та периферійних обчислень. Можна

погодитись, що вона містить раніше незахищені наукові положення та отримані автором нові науково обґрунтовані результати. А саме:

- *вперше* запропоновано ієрархічну нейромережеву модель з використанням згорткових та рекурентних нейронних мереж для аналізу мультисенсорних даних, яка дозволяє організувати нейромережеві обчислення за ієрархічним принципом на основі периферійних обчислень, що підвищило ефективність нейромережевої обробки даних;

- *удосконалено* метод попередньої обробки та форматування вхідних даних з показників сенсорів різного типу з урахуванням їх просторових та часових характеристик, що дозволяє отримати дані для аналізу у вигляді тензору зі заданою розмірністю та забезпечити подальший аналіз мультисенсорних даних за ієрархічною нейромережевою моделлю;

- *отримав подальший розвиток* метод компресії нейронних мереж на основі обчислення ймовірності виключення нейронів з урахуванням параметра надлишковості, що дозволяє зменшити часові та енергетичні витрати на здійснення виведення нейронної мережі.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності.

Основні положення і практичні результати дисертаційної роботи доповідалися та одержали схвалення на таких конференціях: міжнародна конференція з технології, електроніки та мобільних комунікацій IEMCON-2016 (м. Ванкувер, Канада, 2016 рік), українсько-німецькій науково-практичній конференції «Інформатика. Культура. Техніка»: ІКТ-2018 (м. Одеса, 2018 рік), міжнародній конференції мобільних систем, сервісів та технологій DESSERT-2018 (м. Київ, 2018 рік), міжнародних студентських конференціях «Сучасні інформаційні технології»: MIT-2017, MIT-2018 (м. Одеса, 2017 та 2018 рік відповідно), міжнародних науково-практичних конференціях r3m-2016 (м. Одеса, 2016 рік).

Основні результати дисертаційної роботи викладено в 14 публікаціях, з них: 4 статі у наукових фахових виданнях України з технічних наук, 2 публікації у

зарубіжних наукових періодичних виданнях з наряду, з якого підготовлено дисертацію, що індексується наукометричною базою SCOPUS, 8 публікацій у працях і матеріалах наукових конференцій.

Таким чином, вимоги «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого КМУ № 167 від 06.03.2019 р. зі змінами, згідно постанови КМУ № 979 від 21.10.2020 р. та №609 від 09.06.2021 р. до кількості публікацій виконано.

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень, є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертаційній роботі порушень академічної доброчесності не виявлено.

Аналіз змісту та форми дисертаційної роботи.

Робота написана на достатньому мовно-стилістичному рівні.

У вступі обґрунтовано актуальність розробки моделей та методів підвищення ефективності розподілених трансдюсерних мереж на основі машинного навчання та периферійних обчислень, поставлені мета й задачі досліджень, представлені методи досліджень, вказані новизна і практичне значення отриманих результатів, наведені відомості про апробацію, публікації та реалізацію результатів дослідження.

У першому розділі проведено аналіз проблем використання РТМ на основі машинного навчання при побудові систем Інтернету- речей.

Проаналізовано особливості використання РТМ при побудові різних систем Інтернету-речей, а також методи обробки та аналізу даних у цих мережах. Показано затребуваність та ефективність застосування глибинних нейронних мереж у якості методів машинного навчання.

Проаналізовано ефективність типових архітектур РТМ в умовах застосування глибинних нейронних мереж як інструменту аналізу даних. Показано, що структури типових моделей нейронних мереж можуть бути надлишковими та неадаптованими для вирішення різних задач машинного навчання у РТМ. Визначені шляхи для усунення цього.

На основі проведеного огляду сучасного стану даної задачі сформульовано мету і завдання дослідження.

У другому розділі запропоновано ієрархічну нейромережеву модель на основі згорткової та рекурентної моделей нейронних мереж для аналізу мультисенсорних даних, яка дозволить організувати нейромережеві обчислення за ієрархічним принципом на основі периферійних обчислень. Розроблено метод попередньої обробки та форматування даних вимірювань з сенсорів зі збереженням інформації у частотній та просторовій області, що дозволив сформувати вхідний тензор з множини показників, які збираються сенсорами різних типів протягом деякого часу.

У третьому розділі розроблено метод компресії нейронних мереж з метою зниження вимог до обчислювальних та енергетичних ресурсів за рахунок скорочення множини зв'язків між нейронами мережі. В основі запропонованого методу лежить використання методу регулювання глибинних нейронних мереж. Особливістю методу є обчислення ймовірності виключення нейронів з урахуванням параметра надлишковості, що дозволяє зменшити часові та енергетичні витрати на здійснення виведення нейронної мережі.

У четвертому розділі описано розроблені інструментальні засоби, що реалізують запропоновані рішення. Інструментальні засоби розроблено мовою програмування Python та C++ з використанням фреймворків PyTorch та Tensorflow. На основі розроблених інструментальних засобів створено програмний компонент для моделювання роботи РТМ у різних галузях застосування систем Інтернету-речей. Проведені дослідження підтверджують одержані результати.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

У додатках представлено довідки впровадження та додаткові матеріали.

Анотація дисертації коректно відображає її основні положення.

Зауваження до дисертаційної роботи.

В цілому дисертація і анотація до неї оформлені з дотриманням нормативних документів на оформлення результатів науково-дослідних робіт.

До зауважень необхідно віднести наступне:

1. В першому розділі досить широко описано сімейство стандартів IEEE 1451, які в подальшому не згадуються.
2. В роботі не розглянуто приклади розгортання розподілених трансдюсерних мереж у системах Інтернету-речей.
3. При аналізі ефективності вирішення задач розпізнавання дій людини – п. 2.3.1 (стор. 78) та розпізнавання людини за ходом – п. 2.3.2 (стор. 81) на основі розроблених нейромережових рішень – не наведені обґрунтовані дані щодо навчальної та тестової вибірок. Не пояснено, чому саме для оцінки ефективності вибрані точність, макро-середня оцінка F1 і мікро-середня оцінка F1.
4. В розділі 2.2 розроблений метод формування вхідного тензору з множини показників. Але не зрозуміло яким чином здійснюється нормалізації різних типів даних.
5. В розділі 4.1 «Розробка інструментальних засобів моделювання РТМ» бажано було б привести загальну структуру розроблених інструментальних засобів та показати їх місце при проектуванні систем Інтернету-речей.
6. Для того, щоб оцінити повторюваність результатів, доцільно було б навести більш повно умови та обмеження проведених у розділах 2-4 експериментів.
7. Зауваження до оформлення:
 - робота містить незначні стилістичні та граматичні огріхи (наприклад – носимих пристроїв (стор. 47, 49), масштабуємих (стор. 50, 51) тощо);
 - в роботі відсутній список скорочень. Для таких аббревіатур як LSTM, GRU (стор. 5) бажано привести україномовні аналоги.

Загальні висновки та оцінка дисертації.

Перелічені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати дослідження та не зменшують наукову і практичну цінність роботи.

Дисертаційна робота є закінченою кваліфікаційною науковою працею, яка містить раніше не захищені наукові положення і одержані автором нові науково обґрунтовані результати в області застосування методів машинного навчання для підвищення ефективності розподілених трансдюсерних мережах в системах Інтернету-речей.

В підсумку з оглядом на актуальність проблеми, вклад автора в теорію і практику машинного навчання, високий рівень виконаних досліджень та результати практичного впровадження вважаю, що дисертаційна робота «Моделі та методи підвищення ефективності розподілених трансдюсерних мереж на основі машинного навчання та периферійних обчислень» відповідає вимогам Тимчасового Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженому Кабінетом Міністрів України, №167 від 06.03.2019 зі змінами згідно Постанови КМУ №979 від 21.10.2020 та №609 від 09.06.2021 року та чинним вимогам МОН України, а її автор Лобачев Іван Михайлович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю – 122 Комп'ютерні науки, галузь знань – 12 Інформаційні технології.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри кібербезпеки
Західноукраїнського
національного університету



Василь Яцків

Підпис	<i>Василь Яцків</i>
Завіряю:	<i>Анна Семик</i>
начальник загального відділу	