

ВІДГУК

офіційного опонента
ОЛІЙНИКА Андрія Олександровича
на дисертаційну роботу
ШУБИНА Богдана Петровича
на тему

«Методи та моделі побудови інтелектуальних інформаційно-комунікаційних систем автоматизованого управління інфраструктурою»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12
Інформаційні технології, за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

Актуальність теми дисертації

Сучасні промислові інфраструктури дедалі тісніше інтегрують мережі промислового Інтернету речей, системи потокової телеметрії та сервісно-орієнтовані системи автоматизованого управління, які функціонують у реальному часі. Експоненційне зростання кількості під'єднаних сенсорних вузлів, систем відеоаналітики й автономних роботизованих комплексів спричиняє істотне збільшення обсягів даних, які необхідно обробляти з мінімальною затримкою й гарантованою безпекою. Широке впровадження граничних обчислень формує підвищені вимоги до автоматизованих інформаційно-комунікаційних систем управління щодо їх масштабованості, енергоефективності та збереження конфіденційності.

У таких умовах централізовані підходи до оброблення даних стають «вузьким місцем» інформаційної інфраструктури через значні транспортні витрати, а також підвищеним ризиком витоку конфіденційних даних. Перспективним розв'язанням цієї проблеми є використання федеративного машинного навчання, яке полягає у перенесення процесу тренування моделей на граничні пристрої в мережі, локалізуючи таким чином процес передавання даних обробки й скорочуючи час реагування на критичні події. Водночас масове залучення ресурсно-обмежених кінцевих пристроїв вимагає розроблення нових механізмів їхньої координації, адаптивних методів агрегування локальних моделей та енергоощадних протоколів обміну параметрами навчання.

З огляду на вищезгадані тенденції, актуальною є тематика дисертаційної роботи Шубина Б. П., яка присвячена розробленню методів і моделей федеративного навчання, орієнтованих на підвищення ефективності та надійності функціонування інтелектуальних інформаційно-комунікаційних систем автоматизованого управління інфраструктурою у динамічному середовищі.

Зв'язок з науковими програмами та темами

Дисертаційна робота виконувалась в рамках різних науково-дослідних робіт. Зокрема, в рамках науково-дослідних робіт, які фінансувалися за кошти державного бюджету: «Розроблення новітньої децентралізованої мережі мобільного зв'язку на основі блокчейн-архітектури та штучного інтелекту для впровадження технологій 5G/6G в Україні» (2020–2022 рр., № 0120U100674), «Розроблення інноваційних методів та моделей побудови інтелектуальних інформаційно-комунікаційних систем для цифровізації промисловості» (2022–2024 рр., № 0122U000817) та «Розроблення інноваційних методів та засобів розгортання інтелектуальної інформаційної інфраструктури для подвійного використання в умовах цифрової трансформації України» (2023–2025 рр., № 0123U100232). Окрім того, робота виконувалась у межах проекту «Автономні транспортні візки, інтегровані з колаборативними роботами для інтелектуальної промисловості» (контракт NOR/POL-NOR/CoBotAGV/0027/2019-00), в рамках програми Norway Grants 2014–2021 Національного центру досліджень та розвитку Польщі.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено метод багатораундного федеративного навчання, який на відміну від відомих, використовує хронологічну стратифікацію навчальної вибірки, з поетапним усередненням агрегованих моделей кожного раунду, що дало змогу знизити складність обчислень для мобільних кінцевих пристроїв федеративного навчання при збереженні точності результуючої агрегованої моделі.

2. Вперше розроблено структурно-функціональну модель інтелектуальної інформаційно-комунікаційної системи, яка на відміну від відомих, базується на відокремленні площини пристроїв, площини передавання даних, площини автоматизованої інфраструктури та площини інтелектуальної обробки даних, що взаємодіють на основі спільного онтологічного ядра, що дало змогу забезпечити інтероперабельність та обмін локальними навченими моделями між різними виробничими та невиробничими інфраструктурами в процесі федеративного навчання.

3. Удосконалено метод обчислення параметрів агрегованої моделі, шляхом введення додаткового середньозваженого критерію оцінювання ефективності локальних моделей кінцевих пристроїв, що дало змогу підвищити ефективність процесу федеративного навчання за рахунок зниження вагомості статистичних викидів та помилок локальних моделей при обчисленні агрегованої моделі.

Основні наукові результати у повній мірі відображають розв'язок наукового завдання, сформульованого в дисертаційній роботі.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота Шубина Б. П. відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 122 - Комп'ютерні науки та профільним науковим напрямом галузі знань 12 - Інформаційні технології.

Структура й зміст роботи засвідчують логічну завершеність дослідження: сформульовано конкретну мету, чітко окреслено завдання, послідовно подано аналітичний, дослідницький та експериментальний етапи, а також наведено висновки й рекомендації щодо практичного впровадження. Наявність актів упровадження, широкої апробації результатів (доповіді на конференціях IEEE, публікації у виданнях Scopus/WoS) та узгодженість висновків із поставленими завданнями підтверджують належний рівень завершеності роботи.

Перевірка дисертації на текстові збіги показала низький відсоток подібності, що свідчить про самостійність проведених досліджень. Посилання на джерела бібліографічно коректні, ідеї та результати інших авторів містять належні цитування з дотриманням академічної етики. Ознак плагіату, фабрикації чи фальсифікації даних не виявлено.

Таким чином, дисертаційна робота відповідає принципам академічної доброчесності, містить особистий внесок здобувача у розвиток методів федеративного машинного навчання для інтелектуальних інформаційно-комунікаційних систем та може бути прийнята до подальшого захисту у спеціалізованій вченій раді.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, відзначається чіткою логікою викладу й сучасною термінологією галузі 122 Комп'ютерні науки (галузь знань 12 Інформаційні технології). Зміст повністю узгоджується зі Стандартом вищої освіти для зазначеної спеціальності та тематично охоплює актуальний напрям децентралізованого машинного навчання для інтелектуальних інформаційно-комунікаційних систем автоматизованого управління.

Дисертація включає вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел на 188 позицій та два додатки. Загальний обсяг роботи становить 150 сторінок, із яких 102 сторінки основного тексту, 48 рисунків та 12 таблиць.

У вступі чітко обґрунтовано актуальність проблеми федеративного навчання для інтелектуальних інформаційно-комунікаційних систем автоматизованого управління, сформульовано мету роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, окреслено наукову новизну й практичну цінність, наведено інформацію про список публікацій автора.

У першому розділі дисертаційної роботи здійснено комплексний аналіз сучасних наукових підходів до побудови індустріально-орієнтованих інформаційно-

комунікаційних систем із використанням парадигми граничних обчислень. Визначено ключові обмеження централізованих моделей, зокрема щодо масштабованості, захисту конфіденційної інформації та енергетичної ефективності пристроїв в умовах гетерогенного середовища. Обґрунтовано доцільність переходу до федеративних моделей та сформульовано ряд відкритих науково-практичних проблем, зокрема в контексті своєчасного виявлення відмов вузлів та оптимізації споживання енергоресурсів при обробці потокових даних.

У другому розділі розроблено структурно-функціональну модель інтелектуальної інформаційно-комунікаційної системи із впровадженням високорівневої аналітичної компоненти на основі федеративного навчання. Запропоновано ієрархічну модель інформаційно-аналітичної інфраструктури, яка базується на стандартизованих програмних інтерфейсах та децентралізованому управлінні обчислювальними ресурсами, що забезпечує підвищену масштабованість, адаптивність та відмовостійкість системи. Особливу увагу приділено методу формування узагальненої моделі прогнозування на основі середньозваженої агрегації локальних моделей, що дозволяє інтегрувати оцінки ефективності на рівні вузлів. Крім того, розроблено багатораундовий алгоритм федеративного навчання, адаптований до ресурсно-обмежених пристроїв шляхом використання хронологічного розділення вибірки, що сприяє підвищенню обчислювальної ефективності без втрати точності.

У третьому розділі представлено результати імітаційного моделювання функціонування запропонованої моделі у контексті оброблення телеметричних даних від автономних пристроїв. Проведено серію експериментів із варіативною кількістю раундів навчання та різними сценаріями розподілу даних. Обґрунтовано ефективність використання механізму динамічного зважування локальних моделей, що базується на поточній прогнозній точності.

У четвертому розділі наведено результати практичної реалізації алгоритмів федеративного навчання у складі автономної мобільної платформи AGV Formica-1. Розроблено програмно-апаратну інфраструктуру, що реалізує наскрізний цикл «збирання даних-локальна аналітика-керування» для стаціонарних і мобільних об'єктів. Використання багатораундного федеративного навчання для локального тренування нейромереж дозволило досягти скорочення енергоспоживання до 37 % при чотирьох раундах і до 50 % при восьми, без втрати точності у прогнозуванні часових характеристик системи.

У висновку підсумовано здобуті результати та показано, що запропоновані методи й моделі федеративного машинного навчання підвищують точність прийняття рішень за умов неповноти, нестационарності даних та обмежених ресурсів кінцевих пристроїв, що завершує вирішення поставленого науково-практичного завдання.

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 в 25 працях, зокрема: 2 статті у наукових фахових періодичних виданнях України, 12 статей у наукових періодичних виданнях інших держав, які включені до наукометричних баз; 1 стаття у періодичному виданні України, 10 публікацій у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових, науково-технічних конференцій. Наукові результати описані в дисертації повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У першому розділі дисертаційної роботи значна частина присвячена опису методів реалізації процесу федеративного навчання в контексті систем автоматизованого управління. Проте, в подальшому, запропоновані автором методи та моделі розглядаються лише в контексті горизонтального федеративного навчання.

2. У назві дисертаційної роботи, автор не акцентує уваги на типі інфраструктури для якої розробляються методи автоматизованого управління, що підкреслює універсальність пропонованих рішень. Проте, в самому тексті роботи основним предметом дослідження є саме індустріальні автономні пристрої, а інші глобальні варіанти використання запропонованих рішень згадуються лише в 2 розділі.

3. При оцінюванні ваг локальної моделі, автор використовує лише показники функції втрат. Врахування додаткових критеріїв ефективності специфічних до сценарію використання, дало б змогу коректніше визначити реальний внесок кожного периферійного пристрою у агреговану модель федеративного навчання.

4. При описі розробленого методу багатораундного федеративного навчання, автор не достатньо детально враховує параметри каналів зв'язку між автоматизованими інтелектуальними платформами та центральним агрегуючим сервером, що не дає змогу оцінити наскільки великою є надлишковість трафіку при збільшенні кількості раундів для передавання даних.

5. Форма представлення результатів у 3 розділі ускладнює процес їх аналізу, оскільки масштаб рисунків є надто малим для представлення довгих часових рядів. В даному випадку для кращої читабельності можна було представити статистичні розподіли реальних та прогнозованих значень.

6. У четвертому розділі, автор проводить дослідження розроблених алгоритмів на базі периферійних пристроїв NVIDIA Jetson Nano, які є поширеною апаратною платформою для машинного навчання. Проте у тексті дисертаційної роботи доцільно було б навести розрахунки вимог до обчислювальної потужності апаратних пристроїв, щоб зрозуміти, які ще альтернативні платформи можна використати для реалізації розроблених алгоритмів.

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 Шубина Богдана Петровича на тему «Методи та моделі побудови інтелектуальних інформаційно комунікаційних систем автоматизованого управління інфраструктурою», виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим дослідженням, в якому розв'язано актуальне наукове завдання розроблення нових та вдосконалення існуючих методів та моделей федеративного машинного навчання для інформаційно комунікаційних систем автоматизованого управління, з метою підвищення точності в умовах неповноти, нестационарності даних та обмеженості обчислювальних ресурсів кінцевих пристроїв. Отримані результати мають вагоме значення для спеціальності 122 – Комп'ютерні науки та в цілому для галузі знань 12 – Інформаційні технології.

Дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а також Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами), а її автор Шубин Богдан Петрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії спеціальністю 122 – комп'ютерні науки.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмних засобів
Національного університету
"Запорізька політехніка",

Андрій ОЛІЙНИК



Засвідчую підпис
Проректор з НР
НУ "Запорізька політехніка"



Владим ШАЛОМЕЕВ