Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003318

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 06-08-2025

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шубин Богдан Петрович
2. Bohdan P. Shubyn

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3051-1544

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 122

Назва наукової спеціальності: Комп’ютерні науки

Галузь / галузі знань: інформаційні технології

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Комп'ютерні науки

Дата захисту: 12-08-2025

Спеціальність за освітою: 122 Комп'ютерні науки

Місце роботи здобувача: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 10459

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 20.54.03

Тема дисертації:

1. Методи та моделі побудови інтелектуальних інформаційно-комунікаційних систем автоматизованого управління інфраструктурою

2. Methods and Models for Building Intelligent Information and Communication Systems of Automated Infrastructure Management

Реферат:

1. У дисертаційній роботі розв’язано наукову задачу розроблення нових та вдосконалення існуючих методів та моделей федеративного машинного навчання для інформаційнокомунікаційних систем автоматизованого управління, з метою підвищення точності в умовах неповноти, нестаціонарності даних та обмеженості обчислювальних ресурсів кінцевих пристроїв Розроблено метод багатораундного федеративного навчання, який на відміну від відомих, використовує хронологічну стратифікацію навчальної вибірки, з поетапним усередненням агрегованих моделей кожного раунду. Розроблено структурно-функціональну модель інтелектуальної інформаційнокомунікаційної системи, яка базується на відокремленні площини пристроїв, площини передавання даних, площини автоматизованої інфраструктури та площини інтелектуальної обробки даних, які взаємодіють на основі спільного онтологічного ядра. Удосконалено метод обчислення параметрів агрегованої моделі федеративного навчання, введенням додаткового середньозваженого

критерію оцінювання ефективності локальних моделей кінцевих пристроїв. Розділ 1 «Аналіз сучасних методів та моделей побудови інтелектуальних інформаційно-комунікаційних систем» присвячено аналізу сучасних методів та моделей побудови інформаційно-комунікаційних систем автоматизованого управління індустріальною інфраструктурою з використанням елементів штучного інтелекту. Окреслено основні виклики та обмеження стосовно інтеграції федеративного навчання в індустріальних системах. Розділ 2 «Розроблення методів та моделей інтеграції федеративного навчання в інформаційно-комунікаційних системах» присвячено формуванню цілісної методологічної основи інтеграції федеративного навчання в інформаційно-комунікаційні системи автоматизованого управління, що охоплює всі ключові рівні від периферійних пристроїв до хмарного інтелектуального ядра. Представлено ієрархічну структурно-функціональну модель, яка завдяки децентралізації ресурсів та стандартизованим інтерфейсам забезпечує масштабованість, відмовостійкість та горизонтальне перенесення знань між галузями. Представлено розроблений метод обчислення параметрів агрегованої моделі, шляхом введення додаткового середньозваженого критерію оцінювання ефективності локальних моделей кінцевих пристроїв. Описано розроблений метод багатораундного федеративного навчання для кінцевих пристроїв з обмеженими обчислювальними ресурсами, який використовує хронологічну стратифікацію навчальної вибірки. Розділ 3 «Імітаційне моделювання та дослідження показників ефективності функціонування інтелектуальної інформаційно-комунікаційної системи» висвітлює комплексне експериментальне випробування розроблених алгоритмів федеративного навчання на телеметричних даних автономних пристроїв з різною кількістю раундів тренування. Запропонований метод агрегації, у межах якого вагомість локальних моделей визначаються їхньою актуальною прогностичною точністю, продемонстрував середнє зниження середньоквадратичної та середньої абсолютної помилки на 19% порівняно з існуючими методами федеративного навчання, що підтверджує доцільність і практичну ефективність розробленого методу для індустріальних систем автоматизованого управління. Розділ 4 «Практична реалізація інтелектуальної інформаційно-комунікаційної системи управління індустріальною інфраструктурою» присвячено впровадженню та експериментальній оцінці розробленого алгоритму на реальних периферійних пристроях AGV Formica-1. Зокрема, реалізовано програмно-апаратну модель інтелектуальної інформаційно-комунікаційної системи, яка забезпечує наскрізний контур «дані-аналітика управління» для автономних транспортних роботів та стаціонарних технологічних ліній. На базі цієї моделі впроваджено граничне федеративне навчання з використанням розроблених алгоритмів, яке дало змогу здійснювати локальне тренування нейронних мереж. Результати експериментів свідчать про те, що розроблений алгоритм багатораундного федеративного навчання підвищує енергетичну ефективність процесу федеративного навчання на кінцевих пристроях на 37% при використанні 4 раундів навчання та на 50% - при використанні 8 раундів навчання при забезпеченні аналогічної похибки прогнозування часових характеристик індустріальної системи. Висновок підсумовує основні результати дисертаційної роботи та розв'язок наукової задачі розроблення нових та вдосконалення існуючих методів та моделей федеративного машинного навчання для інформаційно-комунікаційних систем автоматизованого управління, з метою підвищення точності прийняття рішень в умовах неповноти й нестаціонарності даних та обмежених обчислювальних ресурсів кінцевих пристроїв.

2. The dissertation tackles the scientific problem of designing new and refining existing methods and models of federated machine learning for information and communication automated-control systems, with the aim of improving decision making accuracy when data are incomplete, non-stationary, and processed under limited computational resources on edge devices. A multi-round federated-learning method has been developed which, unlike known approaches, applies chronological stratification of the training data and stepwise averaging of the aggregated models produced at each round. A structural– functional model of an intelligent information and communication system is proposed: it distinguishes a device plane, data-transfer plane, automated infrastructure plane, and intelligent data-processing plane, all interacting through a common ontological core. The procedure for computing the aggregated model's parameters has been enhanced by introducing an additional weighted-average criterion that assesses the performance of local models on edge devices. Chapter 1 "Analysis of current methods

and models for building intelligent information and communication systems", surveys contemporary approaches to the design of industrial automated information and communication systems that incorporate artificial-intelligence components. The principal challenges and constraints of integrating federated learning in industrial systems are outlined. Chapter 2 "Development of methods and models for integrating federated learning into information and communication systems", establishes a coherent methodological framework that spans all key levels from edge devices to the cloud based intelligent core. A hierarchical structural-functional model is introduced which, through clear resource decentralization and standardized interfaces, ensures scalability, fault tolerance, and horizontal knowledge transfer between sectors. The chapter details the refined aggregation procedure based on the additional weighted criterion and describes the multi-round federated-learning method for resource constrained edge devices that employ chronological stratification of the training data. Chapter 3 "Simulation modelling and investigation of performance indicators of the intelligent information and communication system", presents comprehensive experimental trials of the proposed federated-learning algorithms on telemetry obtained from autonomous devices across different numbers of training rounds. The aggregation strategy whereby each local model is weighted by its current predictive accuracy reduced both mean squared error and mean absolute error by an average of 19 % compared with baseline federated-learning approaches, thereby confirming the practicality and effectiveness of the method for industrial automated-control systems. Chapter 4 "Practical implementation of the intelligent information and communication system for industrial-infrastructure management", covers deployment and experimental evaluation of the algorithm on Fromica-1 AGV edge devices. A hardware-and-software prototype implementing an end-to-end "data-analyticscontrol" loop for autonomous transport robots and stationary production lines was realised, enabling local neural-network training via edge-level federated learning. Experiments show that the proposed multi-round algorithm improves the energy efficiency of federated learning on edge devices by 37 % with four training rounds and by 50 % with eight rounds, while maintaining prediction errors for the system's timing characteristics at a level comparable with the baseline. The conclusion summarizes the principal results and the solution to the scientific problem of advancing methods and models of federated machine learning for information-and-communication automated-control systems, aimed at increasing decision-making accuracy under data incompleteness, non-stationarity, and restricted edge-device resources.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- 1. Federated learning for anomaly detection in industrial IoT-enabled production environment supported by autonomous guided vehicles / B. Shubyn, D. Mrozek, T. Maksymyuk, V. Sunderam, D. Kostrzewa, P. Grzesik, P. Benecki // Lecture Notes in Computer Science. 2022. Vol. 13353 : Computational science - ICCS 2022 : 22nd Annual international conference on computational science, ICCS 2022, London 21-23 June 2022, proceedings, part. IV. P. 409–421. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08760-8_35
- 2. AI-enabled blockchain framework for dynamic spectrum management in multi-operator 6G networks / T. Maksymyuk, J. Gazda, M. Liyanage, L. Han, B. Shubyn, B. Strykhaliuk, O. Yaremko, M. Jo, M. Dohler // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2022. Vol. 831 : Future intent-based networking. On the QoS robust and energy efficient heterogeneous software defined networks. P. 322–338. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5_19
- 3. Luntovskyy A., Shubyn B., Maksymyuk T., Klymash M. 5G slicing and handover scenarios: compulsoriness and machine learning // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 212 : International conference on

infocommunications. Present and future, IPF 2020, Odesa16-19 November 2020. P. 223–255. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_12

- 4. Luntovskyy A., Shubyn B. Energy efficiency for IoT // Studies in Computational Intelligence. 2021. Vol. 976 : International workshop on reliability engineering and computational intelligence RECI 2020, Virtual, Online, 27–29 October 2020. P. 199–215. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74556-1_12
- 5. Forecasting of energy consumption for anomaly detection in automated guided vehicles: models and feature selection / P. Benecki, D. Kostrzewa, P. Grzesik, B. Shubyn, D. Mrozek // International conference on systems, man, and cybernetics, IEEE SMC 2022 : conference proceedings, October 9–12, 2022, Prague, Czech Republic. 2022. P. 2073–2079. doi: 10.1109/SMC53654.2022.9945146.
- 6. Federated learning: a solution for improving anomaly detection accuracy of autonomous guided vehicles in smart manufacturing / B. Shubyn, T. Maksymyuk, J. Gazda, B. Rusyn, D. Mrozek // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2024. Vol. 1198 : Digital ecosystems: interconnecting advanced networks with AI applications. P. 746–761. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61221-3_36
- 7. Luntovskyy A., Globa L., Shubyn B. From big data to smart data: The most effective approaches for data analytics // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 152 : Advances in information and communication technology and systems. MCT 2019. P. 23–40. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_2
- 8. Dynamic system state estimation with a resilience to observation data anomalies / A. Volovyk, Y. Pyrih, O. Urikova, A. Masiuk, B. Shubyn, T. Maksymyuk // Contemporary mathematics (Singapore). 2024. Vol. 5, iss. 1. P. 1–18. https://doi.org/10.37256/cm.5320242867
- 9. On-edge aggregation strategies over industrial data produced by autonomous guided vehicles / P. Grzesik, P. Benecki, D. Kostrzewa, B. Shubyn, D. Mrozek // Lecture Notes in Computer Science. 2022. Vol. 13353 : Computational science - ICCS 2022 : 22nd Annual international conference on computational science, ICCS 2022, London 21-23 June 2022, proceedings, part. IV. P. 458–471. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08760-8_39
- 10. Feature engineering for deep learning-based anomaly detection in 5G and beyond / T. Maksymyuk, N. Lutsiv, B. Shubyn, J. Gazda, O. Ivakhiv // Intelligent data acquisition and advanced computing systems: technology and applications : proceedings of the 12th IEEE International conference IDAACS, Dortmund, Germany, 7–9 Stptember, 2023. Vol. 2. 2023. P. 1110–1113. doi: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348814
- 11. Metaverse of things in 6G era: an emerging fusion of IoT, XR, edge AI and blockchain technologies / T. Maksymyuk, J. Gazda, B. Shubyn, O. Karpin, O. Kapshii, O. Urikova, E. Amhoud, M. Liyanage, M. Jo, M. Dohler // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2023. Vol. 965 LNEE : IEEE lnternational conference on advanced trends in radioelectronics, telecommunications and computer engineering, TCSET 2022, Lviv-Slavske, 22–26 February 2022. P. 546–564. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24963-1_31
- 12. Resource consumption of federated learning approach applied on Edge IoT devices in the AGV environment / B. Shubyn, P. Grzesik, T. Maksymyuk, D. Kostrzewa, P. Benecki, J. Syu, J. C. Lin, V. Sunderam, D. Mrozek // Lecture Notes in Computer Science. 2023. Vol. 14077 : Computational science - ICCS 2023 : 23rd International conference on computational science, ICCS 2023, Prague, Czech Republic, July 3–5, 2023, proceedings, Part V. P. 492–504. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36030-5_39
- 13. Towards detection of anomalies in automated guided vehicles based on telemetry data / P. Benecki, D. Kostrzewa, M. Drewniak, B. Shubyn, P. Grzesik, V. Sunderam, B. Pochopien, A. Kwiecien, B. Malysiak-Mrozek, D. Mrozek // Lecture Notes in Computer Science. 2024. Vol. 14838 : 24rd International conference on computational science, ICCS 2024, Malaga, 2–4 July 2024. P. 192–207. https://doi.org/10.1007/978-3-031-63783-4_15
- 14. Модель інтеграції федеративного навчання в мережі мобільного зв’язку 5-го покоління / Б. П. Шубин, Т. А. Максимюк, О. М. Яремко, Л. П. Фабрі, Д. Мрозек // Infocommunication Technologies and Electronic Engineering = Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. 2022. Vol. 2, № 1. P. 26–35. https://doi.org/10.23939/ictee2022.01.026

- 15. Метод адаптивного логічного розділення мережі 5G на основі глибокого навчання / Т. А. Максимюк, Б. П. Шубин, Д. О. Мисаковець, В. С. Андрущак, С. С. Думич // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2020. Т. 31 (70), № 5. С. 36–42. https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/07

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези; програмні продукти, програмно-технологічна документація

Соціально-економічна спрямованість: забезпечення промисловості чи населення новим видом інформаційно-комунікаційних послуг

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0122U000817; 0120U100674; 0123U100232

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Максимюк Тарас Андрійович

2. Taras A. Maksymiuk

Кваліфікація: д. т. н., доц., 05.12.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2739-9862

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Олійник Андрій Олександрович

2. Andrii O. Oliinyk

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.23

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6740-6078

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Запорізька політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02070849

Місцезнаходження: вул. Жуковського, буд. 64, Запоріжжя, Запорізький р-н., 69063, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ліп`яніна-Гончаренко Христина Володимирівна
2. Khrystyna V. Lipianina-Honcharenko

Кваліфікація: д. т. н., доц., 05.13.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2441-6292

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Західноукраїнський національний університет

Код за ЄДРПОУ: 33680120

Місцезнаходження: вул. Львівська, буд. 11, Тернопіль, Тернопільський р-н., 46009, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шпур Ольга Миколаївна
2. Olha M. Shpur

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.12.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8156-8017

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бешлей Микола Іванович
2. Mykola I. Beshley

Кваліфікація: д. т. н., доц., 05.12.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7122-2319

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Висоцька Вікторія Анатоліївна
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Висоцька Вікторія Анатоліївна
Відповідальний за підготовку облікових документів	Віктор Михайлович Хавалко
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна