Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U004435

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 07-08-2026

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ КПІ ім. Ігоря Сікорського №НСВС/66/26 від 21.09.2026

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бочок В’ячеслав Олександрович
2. Viacheslav O. Bochok

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0000-3929-2758

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 121

Назва наукової спеціальності: Інженерія програмного забезпечення

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Інженерія програмного забезпечення

Дата захисту: 04-09-2026

Спеціальність за освітою: Інженерія програмного забезпечення

Місце роботи здобувача: Організація відсутня

Код за ЄДРПОУ: 00000000

Місцезнаходження: ------, Київ, 00000, Україна

Форма власності: Змішана

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 16567

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

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

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 28.23, 20.57, 28.17

Тема дисертації:

1. Методи та програмні засоби децентралізованого обміну знаннями в системах багатоагентного навчання з підкріпленням

2. Methods and Software for Decentralized Knowledge Sharing in Multi-Agent Reinforcement Learning Systems

Реферат/анотація:

1. Дисертаційна робота присвячена розробленню науково-методичного апарату підвищення продуктивності багатоагентної системи слабко пов'язаних агентів у стаціонарному середовищі за допомогою механізму поширення знань між агентами на базі децентралізованого підходу. Багатоагентні системи є важливим напрямом сучасних інформаційних технологій та штучного інтелекту, оскільки дозволяють моделювати складні розподілені процеси у вигляді сукупності автономних агентів, і застосовуються у промисловості, робототехніці, транспортних системах та системах підтримки прийняття рішень. Ключовим механізмом адаптації агентів є навчання з підкріпленням, однак його алгоритми характеризуються значною потребою у взаємодіях із середовищем (sample complexity), чутливістю до гіперпараметрів та нестабільністю збіжності. Ці проблеми посилюються у багатоагентному навчанні з підкріпленням (Multi-Agent Reinforcement Learning,

MARL), де агенти навчаються одночасно: кожен накопичує знання незалежно, що спричиняє дублювання навчання, зростання обчислювальних витрат та уповільнення досягнення оптимальних стратегій, особливо у великомасштабних системах. Перспективним напрямом підвищення ефективності навчання є передача знань між агентами, що дозволяє повторно використовувати накопичений досвід. Проте застосування таких підходів пов'язане з ризиком негативної передачі знань (negative transfer), відсутністю механізмів контролю якості переданих знань та складністю адаптивного регулювання інтенсивності обміну. Крім того, значна частина відомих підходів базується на централізованих архітектурах, що обмежує їх застосування у розподілених системах зі слабко пов'язаними агентами. Окреслене сформувало протиріччя між потребою підвищення ефективності навчання агентів та можливістю використання передачі знань для його прискорення, яке вирішується шляхом розроблення методів і програмних засобів децентралізованого обміну знаннями з адаптивним контролем якості та інтенсивності передачі. Об'єктом дослідження є процеси аналізу, розроблення, забезпечення якості та впровадження методів і програмних засобів децентралізованого обміну знаннями в системах багатоагентного навчання з підкріпленням у стаціонарних середовищах зі слабко пов'язаними агентами. Предметом дослідження є методи та програмне забезпечення децентралізованого обміну знаннями в таких системах. Метою дисертаційної роботи є підвищення продуктивності багатоагентної системи слабко пов'язаних агентів у стаціонарному середовищі за допомогою механізму поширення знань між агентами на базі децентралізованого підходу. Наукова новизна результатів дослідження полягає в наступному. Набув подальшого розвитку метод децентралізованого вибору вчителя для передачі знань, що дозволяє контролювати якість поширюваних знань, уникаючи негативного переносу. Вперше розроблено метод динамічного децентралізованого контролю інтенсивності передачі знань між агентами, що дозволяє ефективно використовувати набуті системою знання та протидіяти перенавчанню. Вперше розроблено архітектуру програмного забезпечення для реалізації механізму обміну знаннями в системі багатоагентного навчання, характерною особливістю якої є можливість децентралізованого обміну знаннями із застосуванням механізмів контролю якості та інтенсивності передачі. Практичне використання розроблених методів та програмних засобів дозволило підвищити продуктивність багатоагентної системи за метрикою нормалізованої площі під кривою навчання (normalized AUC) сумарної винагороди за епізод на 9–20 % для середньої інтегральної продуктивності системи та на 3,4–10,1% для максимальної продуктивності окремого агента залежно від конфігурації механізму обміну знаннями та режиму автономного навчання. Експериментальні дослідження проведено у тестових середовищах CartPole-v1 та LunarLander-v3 бібліотеки Gym/Gymnasium; механізм продемонстрував результативність як для Deep Q-Network (DQN), так і Double Deep Q-Network (DDQN). Результати дослідження прийнято до впровадження в ТОВ «Кваліtек» (акт від 20.03.2026) та в навчальному процесі КПІ ім. Ігоря Сікорського (акт від 20.03.2026) при викладанні дисципліни «Проектування кібер-фізичних систем». Напрямами подальших досліджень є поширення запропонованих методів на інші алгоритми навчання з підкріпленням та типи багатоагентних середовищ (зокрема кооперативні та змішані), дослідження альтернативних підходів до оцінювання продуктивності агентів, а також розроблення механізмів оцінки різноманітності досвіду агентів. Ключові слова: багатоагентні системи, навчання з підкріпленням, підвищення продуктивності багатоагентної системи, передача знань між агентами, контроль інтенсивності передачі знань, глибоке Q-навчання, дистиляція політики, дистиляція знань, штучний інтелект, машинне навчання, нейронні мережі.

2. The dissertation is devoted to the development of a scientific and methodological framework for improving the performance of a multi-agent system of loosely coupled agents in a stationary environment by means of a decentralized knowledge sharing mechanism between agents. Multi-agent systems are an important area of modern information technology and artificial intelligence, as they make it possible to model complex distributed processes as a set of autonomous agents, and are applied in industry, robotics, transport systems and decision support systems. Reinforcement learning is a key mechanism of agent adaptation; however, its algorithms are characterized by high sample complexity, sensitivity to hyperparameters and unstable convergence. These problems are aggravated in multi-agent reinforcement learning (MARL), where agents learn simultaneously: each of them accumulates knowledge independently, which causes duplication of learning, increased computational

costs and slower attainment of optimal policies, particularly in large-scale systems. A promising way to improve learning efficiency is knowledge transfer between agents, which allows the accumulated experience to be reused. However, the use of such approaches is associated with the risk of negative transfer, the lack of mechanisms for controlling the quality of transferred knowledge and the difficulty of adaptively regulating the intensity of sharing. Moreover, a considerable proportion of the known approaches rely on centralized architectures, which limits their applicability in distributed systems of loosely coupled agents. The above has given rise to a contradiction between the need to improve the efficiency of agent learning and the possibility of using knowledge transfer to accelerate it, which is resolved by developing methods and software for decentralized knowledge sharing with adaptive control of the quality and intensity of transfer. The object of the research is the processes of analysis, development, quality assurance and deployment of methods and software for decentralized knowledge sharing in multi-agent reinforcement learning systems in stationary environments with loosely coupled agents. The subject of the research is the methods and software for decentralized knowledge sharing in such systems. The aim of the dissertation is to improve the performance of a multi-agent system of loosely coupled agents in a stationary environment by means of a decentralized knowledge sharing mechanism between agents. The scientific novelty of the research results is as follows. The method of decentralized teacher selection for knowledge transfer has been further developed, which makes it possible to control the quality of the shared knowledge and to avoid negative transfer. For the first time, a method of dynamic decentralized control of the intensity of knowledge transfer between agents has been developed, which makes it possible to use the knowledge acquired by the system effectively and to counteract overfitting. For the first time, a software architecture for implementing the knowledge sharing mechanism in a multi-agent learning system has been developed, the characteristic feature of which is the possibility of decentralized knowledge sharing with the use of quality and intensity control mechanisms. The practical use of the developed methods and software made it possible to improve the performance of the multi-agent system, measured by the normalized area under the learning curve (normalized AUC) of the cumulative reward per episode, by 9–20 % for the average integral performance of the system and by 3.4–10.1 % for the maximum performance of an individual agent, depending on the configuration of the knowledge sharing mechanism and the mode of autonomous learning. The experimental studies were carried out in the CartPole-v1 and LunarLander-v3 test environments of the Gym/Gymnasium library; the mechanism proved to be effective both for Deep Q-Network (DQN) and for Double Deep Q-Network (DDQN). The research results have been adopted for implementation at Qualitec LLC (certificate of implementation dated 20.03.2026) and are used in the educational process of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (certificate of implementation dated 20.03.2026) in teaching the course "Design of Cyber-Physical Systems". Directions for further research include extending the proposed methods to other reinforcement learning algorithms and types of multi-agent environments (in particular, cooperative and mixed ones), studying alternative approaches to evaluating agent performance, and developing mechanisms for assessing the diversity of agents' experience. Keywords: multi-agent systems, reinforcement learning, multi-agent system performance improvement, knowledge transfer between agents, knowledge transfer intensity control, deep Q-learning, policy distillation, knowledge distillation, artificial intelligence, machine learning, neural networks.

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:

- Бочок В.О., Федорова Н.В. Багатоагентні системи та проблеми їх оптимізації. Вчені Записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія. Технічні науки. 2023. Том 34 (73) № 2. С.131-

137.

- Бочок, В., Федорова, Н. Централізоване навчання для deep Q-learning моделей. Інформаційні технології та суспільство. 2024. Вип. 2 (13). С. 6-11.
- Бочок, В., Федорова, Н. Обмін знаннями в Independent DQN багатоагентній системі та особливості його реалізації. Записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія. Технічні науки. 2025. Том 36 (75) № 3. С. 113-119.
- Бочок В.О., Федорова Н.В. Обмін досвідом між агентами в багатоагентній системі. Матеріали І-ї міжнародної науково – практичної конференції «Сучасні аспекти інженерії програмного забезпечення». м. Київ, 14 грудня 2023 р. С. 92-96
- Бочок В.О., Федорова Н.В. Обмін та збереження інформації між агентами, здатними до навчання. Збірник матеріалів ІІІ Міжнародної науково-технічної конференції “Системи і технології зв’язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку”, 30 листопада 2023 року, м. Київ. Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, 2023. С. 94.
- Бочок В.О., Федорова Н.В. Оптимізація багатоагентних систем. XX міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». 2023. С. 116-117.
- Бочок В., Федорова Н. Визначення якісної та кількісної різниці в досвіді агентів для його передачі. XXI міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». 2024. С. 180-182.

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

Соціально-економічна спрямованість: підвищення продуктивності праці

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0121U109761, 0121U110722

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Федорова Наталія Володимирівна

2. Nataliia V. Fedorova

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4548-4198

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кравцов Григорій Олексійович

2. Hryhorii O. Kravtsov

Кваліфікація: к. т. н., 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1915-4897

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05516949

Місцезнаходження: вул. Генерала Наумова, Київ, 03164, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сторчак Каміла Павлівна

2. KAMILA STORCHAK

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9295-4685

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

Код за ЄДРПОУ: 38855349

Місцезнаходження: вул. Солом'янська, Київ, 03110, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Залевська Ольга Валеріївна

2. Olha V. Zalevska

Кваліфікація: к. т. н., 05.01.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3163-1695

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Мусієнко Андрій Петрович
2. Andrii P. Musiienko

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1849-6716

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Коваль Олександр Васильович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Коваль Олександр Васильович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Бочок В’ячеслав Олександрович
Реєстратор	Юрченко Тетяна Анатоліївна

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності



Юрченко Тетяна Анатоліївна