

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003313

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 06-08-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Журавель Станіслав Сергійович

2. Stanislav S. Zhuravel

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0006-8818-4255

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 172

Назва наукової спеціальності: Електронні комунікації та радіотехніка

Галузь / галузі знань: електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Телекомунікації та радіотехніка

Дата захисту: 14-08-2025

Спеціальність за освітою: Телекомунікації та радіотехніка

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 9711

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: 28.23.37, 49.33.31, 49.33.33, 49.33.35

Тема дисертації:

1. Методи та моделі підвищення ефективності функціонування розподілених сервісних систем
2. Methods and models for enhancing the efficiency of distributed service systems

Реферат:

1. В дисертаційній роботі розв'язано науково-практичне завдання підвищення ефективності функціонування розподілених сервісних систем шляхом розроблення методів та моделей адаптивного покращення функціонування алгоритмів консенсусу через удосконалення механізмів виявлення відмов, зокрема шляхом оптимізації таймаутів як основного інструменту детекції збоїв. У першому розділі «Аналіз методів та алгоритмів консенсусу розподілених сервісних систем» встановлено, що основою узгодженості функціонування розподілених систем є робота алгоритмів консенсусу, що забезпечують їх стабільну роботу та є основним механізмом, який гарантує узгодженість даних між вузлами навіть у випадку збоїв. Забезпечення надійності розподілених сервісних систем є складною задачею, що вимагає комплексного підходу з урахуванням різноманітних джерел збоїв, зокрема апаратних, програмних та мережевих. Ключовим елементом підтримки стійкості розподіленої системи є своєчасне виявлення збоїв (fault detection). Визначено, що в умовах нестабільних і непередбачуваних мережевих затримок ефективність виявлення відмов критично залежить від раціонального вибору порогового значення часу очікування повідомлень від

вузлів. Занижене значення тайм-ауту дозволяє системі оперативно реагувати на потенційні збої, але водночас підвищує ризик хибнопозитивних спрацювань, що може призводити до зайвих реконфігурацій, порушення узгодженості даних і зниження продуктивності системи. Актуальною є розробка нових методів і моделей прогнозованого адаптивного виявлення відмов, які враховуватимуть поточні характеристики мережевого середовища, динаміку затримок і поведінку вузлів у кластері. У другому розділі «Розроблення адаптивних методів підвищення ефективності алгоритмів консенсусу в розподілених сервісних системах» увагу зосереджено на вирішенні проблеми підвищення ефективності функціонування алгоритмів консенсусу, особливо в умовах нестабільності функціонування мережевих з'єднань в розподілених системах, шляхом розроблення нових методів та алгоритмів. Набув подальшого розвитку метод виявлення відмов в роботі розподілених сервісних систем, який на відміну від існуючих аналізує стан функціонування системи та мінімізує кількість помилкових рішень про відмови, як викликані короточасними мережевими збоями, шляхом інтеграції ймовірнісного байесівського підходу. Для мінімізації кількості реконфігурацій удосконалено метод адаптивного визначення порогу відмов шляхом прогнозування часу очікування повідомлень від потенційно непрацездатного вузла за допомогою моделі машинного навчання SARIMA. Вперше запропоновано автономний адаптивний метод підвищення продуктивності РСС, який на основі знань про лідер-орієнтовану структуру алгоритму консенсусу, дозволяє динамічно коригувати параметри затримки між вузлами кластеру, обирати лідера в кластері, та забезпечити максимальну стабільність і продуктивність роботи системи в цілому. У третьому розділі «Модельовання та дослідження продуктивності методів підвищення ефективності розподілених систем» проведено розрахунок апостеріорної ймовірності відбою вузла на основі методу виявлення відмов з використанням ймовірнісного байесівського підходу. Проведені розрахунки доводять, що навіть за умов наявності окремих ознак потенційної відмови, таких як пропущені повідомлення працездатності або підвищена затримка, метод не схильний до передчасних висновків, а натомість дозволяє зважено формувати рішення на основі комбінації факторів. Такий підхід значно зменшує кількість хибнопозитивних спрацювань приблизно на 4–5%. Після проведення модельовання із використанням методу адаптивного визначення порогу відмов та моделі машинного навчання SARIMA вдалося підвищити точність виявлення збоїв на 20%, забезпечуючи при цьому адаптивну та ефективну реакцію системи на нестабільні умови функціонування мережі. Результати модельовання продемонстрували здатність алгоритму визначення тайм-ауту точно і гнучко визначати вузол, який має найсприятливіші умови для виконання ролі лідера, з урахуванням фактичних характеристик мережі. У четвертому розділі «Практична реалізація та функціонування розроблених методів підвищення ефективності розподілених сервісних систем» розроблено програмно-апаратний комплекс з автономним адаптивним підходом до управління для підвищення ефективності функціонування розподіленої системи, що дозволить на практиці підтвердити ефективність запропонованих методів та алгоритмів. Завдяки впровадженню автономного адаптивного методу у роботу програмно-апаратного комплексу вдалося досягти зменшення ймовірності реконфігурації кластеру на 4.5%, що дозволить обробляти запити в моменти пікових навантажень без переобрання нових лідерів.

2. This thesis addresses the scientific and practical task of improving the efficiency of distributed service systems by developing methods and models for the adaptive enhancement of consensus algorithm performance through the refinement of failure detection mechanisms, in particular by optimizing timeouts as the primary tool for failure detection. In the first chapter, "Analysis of methods and algorithms for ensuring consistency in distributed service systems", it was established that the basis for the consistency of distributed systems' functioning is the operation of consensus algorithms, which ensure their stable performance and are the primary mechanism guaranteeing data consistency between nodes even in the event of failures. Ensuring the reliability of distributed service systems is a complex task that requires a comprehensive approach, taking into account various sources of failure, including hardware, software, and network issues. A key element in maintaining the resilience of a distributed system is the timely detection of failures (fault detection). It was determined that, under conditions of unstable and unpredictable network delays, the effectiveness of failure detection critically depends on the rational choice of the threshold value for the timeout of receiving messages from nodes. A reduced timeout value allows the system

to respond quickly to potential failures, but at the same time increases the risk of false positives, which may lead to unnecessary reconfigurations, data inconsistency, and reduced system performance. Therefore, the development of new methods and models for predictive adaptive failure detection that consider the current characteristics of the network environment, delay dynamics, and node behavior in the cluster is relevant. In the second chapter, "Development of adaptive methods for improving the efficiency of consensus algorithms in distributed service systems", attention is focused on solving the problem of improving the efficiency of consensus algorithm operation, especially under unstable network conditions in distributed systems, by developing new methods and algorithms. The method of failure detection in distributed service systems was further developed. Unlike existing approaches, it analyzes the operational state of the system and minimizes the number of incorrect failure decisions caused by short-term network failures by integrating a probabilistic Bayesian approach. To minimize the number of reconfigurations, the method of adaptive determination of the failure threshold was improved by predicting the timeout for receiving messages from potentially non-functional nodes using the SARIMA machine learning model. For the first time, an autonomous adaptive method was proposed to increase the performance of distributed service systems. Based on knowledge of the leader-oriented structure of the consensus algorithm, this method allows dynamic adjustment of delay parameters between cluster nodes, electing a leader in the cluster, and ensuring maximum stability and performance of the entire system. In the third chapter, "Modeling and performance analysis of methods for improving the efficiency of distributed systems", the posterior probability of a node failure was calculated based on the failure detection method using a probabilistic Bayesian approach. The calculations confirm that even when certain signs of a potential failure are present, such as missed heartbeat messages or increased delay, the method is not prone to premature conclusions but instead enables balanced decision-making based on a combination of factors. This approach significantly reduces the number of false positives by approximately 4–5%. After modeling using the adaptive failure threshold method and the SARIMA machine learning model, it was possible to improve the accuracy of failure detection by 20%, ensuring an adaptive and effective system response to unstable network conditions. The modeling results demonstrated the algorithm's ability to accurately and flexibly determine the node with the most favorable conditions for performing the role of a leader, taking into account the actual network characteristics. In the fourth chapter, "Practical implementation and operation of the developed methods for improving the functioning of distributed service systems" a software and hardware complex with an autonomous adaptive control approach was developed to improve the efficiency of the distributed system's functioning, which will make it possible to confirm the effectiveness of the proposed methods and algorithms in practice. As a result of implementing the autonomous adaptive method into the software and hardware complex, it was possible to achieve a 4.5% reduction in the probability of cluster reconfiguration, which will enable processing requests during peak loads without re-electing new leaders.

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:

- Zhuravel S., Klymash M., Shpur O., Mrak V. "Reducing the impact of unstable connections among nodes of wireless IIoT clusters using machine learning methods", Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 1198: Digital ecosystems: interconnecting advanced networks with AI applications. P. 144–159, 2024. doi: 10.1007/978-3-031-61221-3_8
- S. Zhuravel, O. Shpur, and M. Klymash, "Adaptive consensus algorithms: Designing for durability against unstable network connections," International Journal of Computing, vol. 23, no. 4, pp. 574–582, 2024. doi: 10.47839/ijc.23.4.3756.

- N. Peleh, S. Zhuravel, O. Shpur, and O. Rybytska, "Structured and unstructured log analysis as a method to detect DDoS attacks in SDN networks," *Internet of Things (IoT) and Engineering Applications*, vol. 6, no. 1, pp. 1–9, 2021. doi: 10.23977/iotea.2021.060101.
- S. Zhuravel, "Development of network simulation model for evaluating the efficiency of distributed consensus taking into account the instability of network connections," *Infocommunication Technologies and Electronic Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 10–19, 2024. doi: 10.23939/ictee2024.01.010.
- S. Zhuravel, O. Shpur, and Y. Pyrih, "Method of achieving consensus in distributed service systems," *Infocommunication Technologies and Electronic Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 58–66, 2022. doi: 10.23939/ictee2022.02.058.
- Журавель С., Думич С., Шпур О. "Дослідження методів збору та обробки даних в розподілених інформаційних системах" *Infocommunication Technologies and Electronic Engineering = Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. vol. 1, № 1, с. 20–38, 2021. doi: 10.23939/ictee2021.01.020
- S. Zhuravel, "Adaptive probabilistic methods for boosting the reliability of consensus algorithms in distributed systems," in *Proc. 2024 IEEE 17th Int. Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv–Slavske, Ukraine, 2024, pp. 145–149. doi: 10.1109/TCSET64720.2024.10755585.
- M. Klymash, O. Shpur, O. Lavriv, and S. Zhuravel, "Achieving consistency and consensus of distributed infocommunication systems," in *Proc. 2022 IEEE 16th Int. Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv–Slavske, Ukraine, 2022, pp. 386–389. doi: 10.1109/TCSET55632.2022.9767019.
- M. Klymash, S. Zhuravel, O. Shpur "Machine learning approaches to stabilize wireless IIoT clusters facing network instabilities" *Наукоємні технології в інфокомунікаціях: збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції НІСТ'2023, Харків - Кам'янець-Подільський, Україна, 2023, с. 90– 92.*

Наукова (науково-технічна) продукція: програмні продукти, програмно-технологічна документація

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

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впровадження не планується

Зв'язок з науковими темами:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Климаш Михайло Миколайович
2. Muxhailo M. Klymash

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-2867-1482

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. Наконечний Володимир Сергійович
2. Volodymyr S. Nakonechnyi

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.12.13

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0247-5400

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Код за ЄДРПОУ: 02070944

Місцезнаходження: вул. Володимирська, буд. 60, Київ, 01033, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Семенов Андрій Олександрович
2. Andrii Semenov

Кваліфікація: д.т.н., професор, 05.12.13

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9580-6602

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Вінницький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070693

Місцезнаходження: вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Масюк Андрій Романович

2. Andriy R. Masyuk

Кваліфікація: к. т. н., 05.12.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0459-7217

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. Максимюк Тарас Андрійович

2. Taras A. Maksymyuk

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

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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**

Бешлей Микола Іванович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Бешлей Микола Іванович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Бешлей М.І.

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна