

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента доктора технічних наук, доцента

Чалої Оксани Вікторівни

на дисертаційну роботу Шеліхова Юрія Олександровича
на тему: «Моделі та метод контролю мікроклімату у мікросервісних
інформаційно-вимірювальних системах»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

Актуальність та обґрунтування вибору теми дослідження

Дисертація Шеліхова Ю.О. присвячена розробці моделей та методу контролю мікроклімату у мікросервісних інформаційно-вимірювальних системах, у яких потоки даних від IoT-сенсорів перетворюються на прогнозні оцінки стану середовища та керуючі дії для підтримання параметрів мікроклімату. Такі системи орієнтовані на використання в сучасних розумних приміщеннях, сіті-фермах і закритому агровиробництві, де важливими є точність вимірювання, сталість параметрів середовища та економне використання енергії.

На відміну від традиційних систем із фіксованими правилами або ПІД-регуляторами, у роботі запропоновано перейти до проактивного контролю, що поєднує потокову агрегацію даних, нейромережеве прогнозування та адаптивний вибір дій. Мікросервісна організація в цьому випадку виступає не лише технологією реалізації, а й способом формального розподілу функцій між автономними компонентами. Виконано інтеграцію методів LSTM-прогнозування та навчання з підкріпленням у єдине подієво-орієнтоване середовище, де результати вимірювання, прогнозування та керування пов'язані між собою через чітко визначені інформаційні потоки.

Актуальність дисертаційного дослідження визначається протиріччям між потребою забезпечити масштабованість, відмовостійкість і адаптивність розподілених систем контролю мікроклімату та обмеженнями традиційних централізованих і монолітних архітектур. Розв'язання цього протиріччя потребує поєднання мікросервісів, потокової обробки даних від гетерогенних IoT-джерел та подальшого формування відповідних керуючих дій.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому та оформлення

Мету дисертації сформульовано як розроблення моделей, методу та алгоритмічного забезпечення контролю мікроклімату у мікросервісних розподілених інформаційно-вимірювальних системах для збору, потокової обробки, прогнозування та адаптивного інтелектуального контролю параметрів мікроклімату. Поставлені завдання послідовно охоплюють аналіз наявних рішень, формалізацію стану мікроклімату, побудову мікросервісної архітектури, інтеграцію інтелектуальних методів та експериментальне оцінювання отриманих теоретичних результатів.

В роботі мікроклімат розглянуто як сукупність взаємопов'язаних параметрів, що надходять від гетерогенних сенсорних джерел, нормалізуються, агрегуються у потоці та використовуються для прогнозування. Такий підхід є важливим для переходу від набору окремих вимірювань до формалізованого об'єкта контролю.

Перший розділ містить огляд систем мікроклімату, IoT-рішень, мікросервісних архітектур і методів штучного інтелекту. У розділі сформовано вимоги до проєктованої системи.

У другому розділі удосконалено модель представлення та прогнозування стану мікроклімату як об'єкта контролю. Представлено критерії оцінювання якості контролю та енергоефективності, виконано постановку задачі контролю на основі навчання з підкріпленням.

Третій розділ присвячено синтезу архітектури та програмно-апаратній організації системи. Розроблено архітектурну модель мікросервісної розподіленої інформаційно-вимірювальної системи. Розроблена архітектура поєднує сервіси збору, потокової обробки, зберігання сенсорних даних, керування актуаторами мікроклімату. Розглянуто питання надійності, безпеки та масштабованості розробленої системи.

У четвертому розділі розроблено метод адаптивного інтелектуального контролю параметрів мікроклімату. Розроблено систему проактивного контролю на базі рекурентних нейронних мереж, а також гібридний механізм ризик-орієнтованого арбітражу, методику синтезу політик інтелектуального контролю.

У п'ятому розділі виконано експериментальне дослідження запропонованих архітектурних рішень. Проведено оцінювання точності прогнозування, якості керування і масштабованості.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами), та «Вимогам до оформлення дисертації», затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40.

Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Першим науковим результатом є архітектурна модель мікросервісної розподіленої інформаційно-вимірювальної системи інтелектуального контролю мікроклімату. Модель поєднує IoT-рівень, сервіси потокової обробки, прогнозний модуль та контур керування в єдину розподілену структуру з асинхронною взаємодією.

Другим результатом є удосконалена модель представлення та прогнозування стану мікроклімату як об'єкта контролю у розподіленій мікросервісній

інформаційно-вимірювальній системі, яка дає змогу формувати багатфакторний опис середовища та прогнозувати зміну параметрів за допомогою LSTM-моделей. Даний науковий результат забезпечує підвищення обґрунтованість керуючих дій, оскільки рішення приймаються з урахуванням не лише поточних, а й прогнозних значень.

Третім результатом є подальший розвиток методу адаптивного інтелектуального контролю параметрів мікроклімату в мікросервісній розподіленій інформаційно-вимірювальній системі на основі навчання з підкріпленням із багатокритеріальною функцією винагороди. Багатокритеріальна функція винагороди дозволяє узгоджувати вимоги до комфорту, стабільності параметрів і енергоефективності, що забезпечує підвищення ефективності керування складними середовищами з неповною визначеністю.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів забезпечується поєднанням математичного моделювання, програмної реалізації та експериментальної перевірки. Робота містить не лише теоретичні положення, а й функціональний прототип, що реалізує основні складові запропонованої системи. Результати експериментальної перевірки підтверджують підвищення точності прогнозування та зниження енерговитрат при керуванні мікрокліматом.

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості створення систем контролю мікроклімату в розумних приміщеннях, теплицях, сіті-фермах та навчально-дослідних лабораторіях. Запропонована архітектура придатна до розширення за рахунок підключення нових сенсорів, актуаторів та аналітичних модулів. Експериментальні результати демонструють зменшення відхилень

параметрів мікроклімату від заданих значень та підвищення енергоефективності, що підтверджує практичне значення запропонованих моделей і методу.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. Доцільно детальніше описати процедури обробки пропущених або аномальних сенсорних значень, оскільки такі ситуації є типовими для IoT-систем реального часу.

2. Бажано розширити обґрунтування вибору горизонту прогнозування та основних параметрів LSTM-моделі, щоб чіткіше показати зв'язок між точністю прогнозу і якістю керування.

3. У розділі, присвяченому навчанню з підкріпленням, доцільно було б окремо проаналізувати стабільність політики керування у рідкісних або аварійних сценаріях.

4. Варто було б детальніше показати, як змінюється якість керування при відключенні окремих інтелектуальних модулів (наприклад, без LSTM-прогнозування або без RL-корекції), оскільки це дозволило б чіткіше оцінити внесок кожної складової системи.

5. Бажано розширити статистичне обґрунтування експериментальних результатів, зокрема подати довірчі інтервали або дисперсійні характеристики для основних метрик точності прогнозування та енергоефективності.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи та можуть бути враховані у подальших дослідженнях.

Повнота апробації та дотримання вимог академічної доброчесності.

Матеріали дисертації оприлюднено у наукових працях, які відображають основні складові дослідження, а саме архітектуру мікросервісної інформаційно-вимірювальної системи, модель стану мікроклімату, LSTM-прогнозування, адаптивне керування на основі навчання з підкріпленням, IoT-рівень та експериментальну апробацію.

Особистий внесок здобувача у спільних публікаціях розкрито достатньо повно. Під час аналізу тексту дисертації ознак порушення академічної доброчесності не виявлено. Положення інших авторів супроводжуються відповідними бібліографічними посиланнями.

Загальні висновки щодо дисертації.

Дисертаційна робота Шеліхова Юрія Олександровича є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено науково-технічну задачу підвищення ефективності функціонування мікросервісних інформаційно-вимірювальних систем контролю параметрів мікроклімату шляхом розроблення моделей та методу проактивного контролю мікроклімату з інтегрованими інтелектуальними алгоритмами прийняття рішень.

За змістом, обсягом, рівнем обґрунтованості, достовірністю результатів та повнотою їх оприлюднення дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

Вважаю, що Шеліхов Юрій Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Рецензент:

доктор технічних наук, доцент

завідувачка кафедри інформаційних систем і технологій

Харківського національного

університету радіоелектроніки



Оксана ЧАЛА