

ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ БАЗИ ЗНАНЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ЗАМКНУТОГО ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджується проблема розробки онтологічної моделі бази знань для управління параметрами замкнутого водного середовища. Запропоновано підхід до формалізації предметної області на основі онтологічного моделювання, що включає опис основних сутностей, їх властивостей та взаємозв'язків. Розглянуто інтеграцію даних із сенсорів та модулів аналізу зображень, а також використання механізмів нечіткої логіки для підтримки процесу прийняття рішень. Запропонована модель може сприяти підвищенню ефективності моніторингу та керування параметрами водного середовища за рахунок семантичної обробки даних і можливості інтелектуального аналізу.

Ключові слова: онтологічне моделювання, база знань, замкнуте водне середовище, нечітка логіка, інтелектуальні системи, семантичний аналіз..

Abstract

The problem of developing an ontology-based knowledge base for managing parameters of a closed water environment is investigated. An approach to domain formalization based on ontological modeling is proposed, including the description of key entities, their properties, and relationships. The integration of sensor data and image analysis modules is considered, along with the use of fuzzy logic mechanisms to support decision-making processes. The proposed model may improve the efficiency of monitoring and controlling water environment parameters through semantic data processing and intelligent analysis capabilities.

Keywords: ontological modeling, knowledge base, closed water environment, fuzzy logic, intelligent systems, semantic analysis.

Вступ

Системи керування параметрами замкнутих водних середовищ (зокрема акваферм, басейнів та лабораторних установок) передбачають взаємодію з великою кількістю сенсорів, керуючих пристроїв і виконавчих елементів. Функціонування таких систем відбувається в умовах значної складності даних, де особливого значення набувають оперативність обробки інформації та обґрунтованість прийняття рішень. З цього випливає висновок, що актуальності набуває формалізація знань у предметній області. У випадку замкнутих водних середовищ існує необхідність забезпечити стабільність фізико-хімічних показників на основі даних із різномірних джерел. Ефективним підходом до структуризації знань у цій сфері є онтологічне моделювання.

Онтологічне моделювання належить до інтелектуальних інформаційних технологій, оскільки забезпечує формалізоване, семантично збагачене представлення знань, яке може бути інтерпретоване не лише людиною, але й програмними агентами. На відміну від традиційних інформаційних систем, що оперують переважно даними, онтології працюють із знаннями, включаючи їх структуру, зв'язки та обмеження. Це дозволяє реалізовувати механізми логічного виведення, автоматизованого узагальнення та інтелектуального аналізу, що є ключовими ознаками інтелектуальних систем [1-3].

Результати дослідження

Важливою характеристикою онтологічного підходу є використання формальних мов подання знань (зокрема RDF та OWL), які підтримують семантичну інтерпритуємість і дозволяють інтегрувати дані з різних джерел без втрати змісту. Завдяки цьому онтологічні моделі можуть виступати ядром інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень [2, 3].

Порівняно з традиційними системами прийняття рішень і пошуку, онтологічне моделювання має низку суттєвих переваг.

Онтологічне моделювання забезпечує семантичний пошук замість синтаксичного. У традиційних базах даних пошук виконується за точним співпадінням значень або ключових слів, тоді як онтології дозволяють враховувати змістовні зв'язки між поняттями. Наприклад, система може інтерпретувати, що різні параметри належать до одного класу або пов'язані через ієрархію [4].

Крім того, онтології підтримують логічне виведення нових знань на основі наявних фактів і правил. Це дозволяє системі автоматично генерувати нові висновки, що особливо важливо для складних динамічних середовищ, таких як управління водними параметрами.

З цього випливає, що забезпечується гнучкість і розширюваність моделі. Додавання нових класів, властивостей або правил не потребує суттєвої перебудови всієї системи, на відміну від традиційних реляційних баз даних, де зміна структури часто є складною і затратною [5].

Онтологічний підхід значно спрощує інтеграцію різномірних джерел даних. У розглянутій моделі це проявляється у поєднанні сенсорних даних і результатів аналізу зображень в єдиній семантичній структурі.

Окрему роль відіграє використання мови запитів SPARQL, яка дозволяє здійснювати складні семантичні запити до онтологічної бази знань. На відміну від SQL, SPARQL орієнтований на графову модель даних і дає змогу формулювати запити з урахуванням зв'язків між об'єктами. Це дозволяє, наприклад, отримувати всі параметри, що контролюються певним контролером, або визначати дії, які активуються за певних умов, навіть якщо ці зв'язки не задані явно, а виводяться логічно. Крім того, SPARQL підтримує запити до розподілених джерел даних (*federated queries*), що розширює можливості інтеграції та аналізу інформації у масштабах складних систем [6].

Таким чином, онтологічне моделювання забезпечує більш високий рівень інтелектуалізації інформаційних систем у порівнянні з традиційними підходами, завдяки поєднанню семантики, логічного виведення та гнучких механізмів запитів, що робить його особливо ефективним для задач управління складними об'єктами, зокрема замкнутими водними середовищами.

Розглянемо приклад представлення предметної області управління замкнутим водним середовищем у вигляді семантичної мережі (онтографа).

Запропонована онтологія охоплює ключові сутності предметної області та їх взаємозв'язки. Центральним елементом є клас *WaterEnvironment*, який агрегує параметри середовища (*Parameter*) та відповідні сенсори (*Sensor*). Сенсори здійснюють вимірювання параметрів, таких як температура та рН, що забезпечує первинний рівень збору даних.

Для реалізації керуючих впливів введено клас *Controller*, який взаємодіє з параметрами та виконує дії (*Action*) на основі прийнятих рішень. Інтелектуальна складова системи представлена класом *FuzzyLogicSystem*, що використовує набір правил (*Rule*), сформованих за принципом «умова–наслідок». Зокрема, у моделі реалізовано правило, яке активує охолодження у разі перевищення температурного порогу, що демонструє можливість адаптивного реагування системи.

Особливістю запропонованої моделі є інтеграція модуля аналізу зображень (*ImageAnalyzer*), який доповнює сенсорні дані шляхом оцінки параметрів, зокрема прозорості води, із використанням алгоритмів комп'ютерного зору. Отримані результати передаються до системи нечіткої логіки як додаткові вхідні змінні, що підвищує точність прийняття рішень.

Клас *Decision* формалізує результати обробки даних і пов'язує їх із конкретними діями, забезпечуючи логічну завершеність циклу «моніторинг–аналіз–керування». Таким чином, онтологія підтримує повний цикл функціонування інтелектуальної системи управління.

Перевагами запропонованого підходу є:

- формалізоване представлення знань і можливість їх повторного використання;
- інтеграція різномірних джерел даних (сенсори, зображення);
- підтримка нечітких методів прийняття рішень;
- розширюваність моделі шляхом додавання нових параметрів, правил та алгоритмів.

Описані класи і їх взаємозв'язки є можливим представити у вигляді UML-діаграми семантичної мережі. Графічне представлення створеної діаграми наведено на рисунку 1.

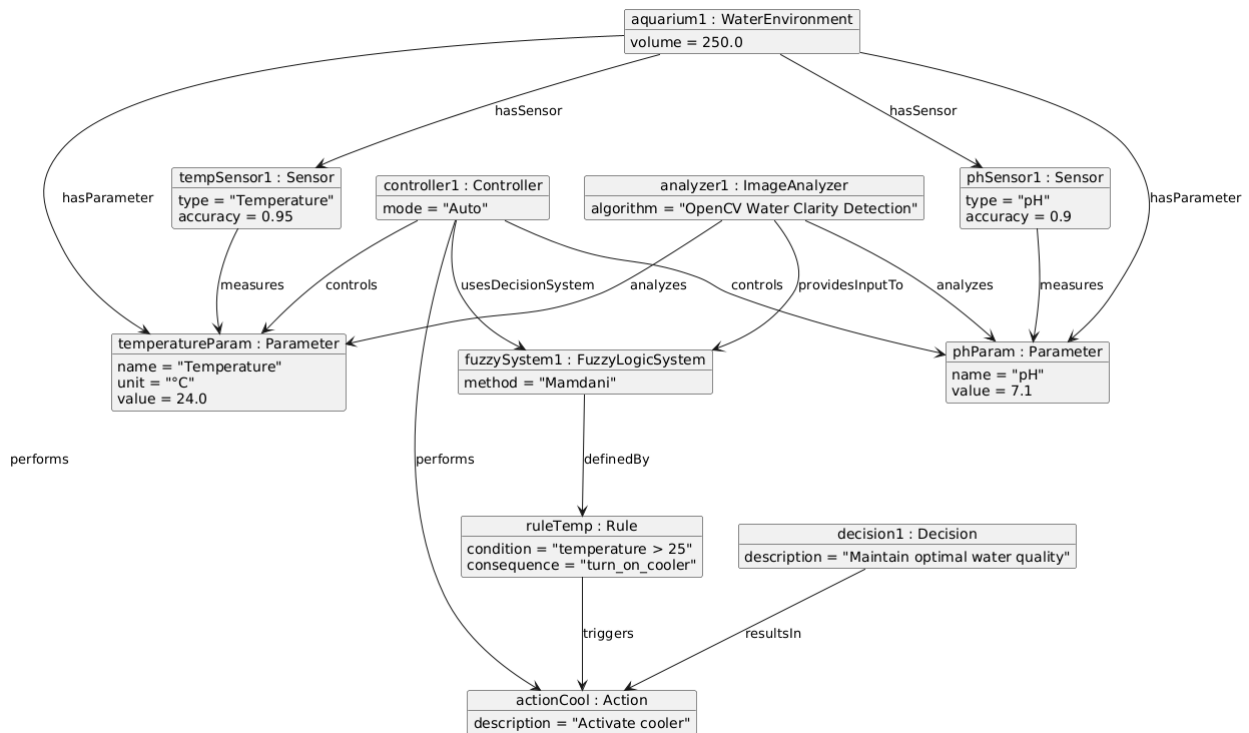


Рисунок 1 – UML-діаграма онтологічної моделі системи управління параметрами замкнутого водного середовища

Таким чином, онтологічне моделювання може забезпечити більш високий рівень інтелектуалізації інформаційних систем у порівнянні з традиційними підходами, завдяки поєднанню семантики, логічного виведення та гнучких механізмів запитів, що робить його особливо ефективним для задач управління складними об'єктами, зокрема замкнутими водними середовищами.

Це, у свою чергу, може дозволити підвищити точність прийняття рішень і зменшити кількість помилок у процесі аналізу даних, оскільки система враховує контекстні зв'язки між параметрами середовища. Також покращується повнота аналізу стану об'єкта управління, оскільки взаємопов'язані параметри можуть автоматично враховуватися у процесі обробки інформації.

Висновки

У роботі розглянуто підхід до побудови бази знань системи управління параметрами замкнутого водного середовища на основі онтологічного моделювання. Запропонована онтологія дозволяє формалізувати основні сутності предметної області, зокрема водне середовище, параметри якості води, сенсори, модулі аналізу, правила та керуючі дії, а також визначити семантичні зв'язки між ними. Це створює структуроване представлення знань, яке може бути використане для підтримки процесів моніторингу, аналізу та прийняття рішень у системах управління водними середовищами.

Використання онтологічного підходу забезпечує низку переваг, серед яких семантична інтеграція даних із різних джерел, можливість розширення моделі без суттєвої зміни її структури, а також підтримка інтелектуального пошуку та логічного виведення знань. Застосування мов семантичних мереж та механізмів запитів дозволяє ефективно працювати з базою знань та формувати складні аналітичні запити до неї.

Перспективним напрямом розвитку запропонованої моделі є поєднання онтологічної бази знань із механізмами нечіткої логіки. Онтологія може виконувати роль семантичного скелета системи, що описує об'єкти, їх властивості та взаємозв'язки, тоді як нечітка логіка забезпечує обробку невизначеності та прийняття рішень на основі нечітких правил. Таке поєднання дозволяє інтегрувати формалізоване представлення знань із адаптивними методами керування, що особливо важливо для динамічних середовищ, у яких параметри можуть змінюватися у широких межах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Li J., Poveda M., Garijo D. Large Language Models for Ontology Engineering: A Systematic Literature Review, 2025. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.semantic-web-journal.net/content/large-language-models-ontology-engineering-systematic-literature-review>
2. Chen J. et al. Ontology Embedding: A Survey of Methods, Applications and Resources [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2406.10964>
3. Zhao J. et al. Research on Domain Ontology Construction Based on Content Features [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-62459-4>
4. Amini R. et al. Towards Complex Ontology Alignment using Large Language Models [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2404.10329>
5. Aminu E. F. et al. A Review on Ontology Development Methodologies for Knowledge Representation Systems [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mecspress.org/ijieeb/ijieeb-v12-n2/IJIEEB-V12-N2-5.pdf>
6. SPARQL 1.1 Query Language. W3C Recommendation 21 March 2013 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>

Шинкаренко Олег Олександрович – аспірант кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. e-mail: oshynkarenko1503@gmail.com.

Сілагін Олексій Віталійович – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. e-mail: avsilagin@vntu.edu.ua.

Shynkarenko Oleh Oleksandrovyich – postgraduate student of Computer Science Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oshynkarenko1503@gmail.com.

Silagin Oleksiy Vitalyevich – Cand Sc. (Eng.), Associate Professor of Computer Science Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: avsilagin@vntu.edu.ua.