

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-83-39>

УДК 621.3:004.67:004.65

МАСЛИЯК Богдан

Західноукраїнський національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1410-9280>

e-mail: bm@wunu.edu.ua

ВОЗНА Наталія

Західноукраїнський національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8856-1720>

e-mail: nvozna@ukr.net

КОЧАН Орест

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-3164-3821>

e-mail: orestvk@gmail.com

ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СФЕРІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Робота присвячена розробці предметно-орієнтованих онтологій у сфері вимірювань та технології інтернету речей з метою отримання нових знань. Запропоновано узагальнену методику побудови онтології, її загальних компонентів: концепти, відношення, правила виведення аксіом. Розглянуто інструментарій для побудови предметно-орієнтованих онтологій. Новизна полягає у пропозиції здійснювати обробку отриманих даних відносно всіх систем IoT, які під'єднані до хмарної технології на боці сховища та надавати послуги з прогнозування похибок, надійності, термінів проведення повірочних робіт з врахуванням впливу умов експлуатації вимірювальних каналів.

Ключові слова: інтернет речей, онтологія, вимірювання, вимірювальний канал, похибка, засоби вимірювань.

MASLYIAK Bogdan, VOZNA Nataliia

West Ukrainian National University

KOCHAN Orest

Lviv Polytechnic National University

ONTOLOGICAL APPROACH TO CREATING SUBJECT-ORIENTED TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF IoT

The work is devoted to the development of subject-oriented ontologies in the field of measurements and Internet of Things (IoT) technology with the aim of generating new knowledge and enhancing the efficiency of data interpretation and system operation. A generalized method of ontology construction is proposed, which defines the key components of such ontologies, including domain-specific concepts, semantic relations between them, and rules for axiom derivation. The study emphasizes that the ontology-based approach provides a universal mechanism for formalizing knowledge in measurement-related domains, ensuring semantic consistency and interoperability between heterogeneous information systems. The implementation of the ontology makes it possible to unify, at the conceptual level, the most significant elements of the subject area: basic concepts (such as measurement objects, measuring instruments, and measurement procedures), a set of semantic relations (for example, identifiers of measuring components, measurement results, and operating conditions), and functions for interpreting the results of measurement technologies (such as error estimation, determination of inter-verification and inter-calibration intervals, and evaluation of measurement accuracy).

In addition, the knowledge base is proposed to include algorithms related to measurement accuracy and reliability—covering the determination of systematic and random errors, prediction of their future values, identification of the probability distribution of error components, calculation of calibration and verification periods, and forecasting the overall reliability of IoT systems and their subsystems. This enables not only precise error analysis but also proactive reliability management, which is critically important for long-term operation of IoT infrastructures. The paper also presents a detailed analysis of toolkits available for building subject-oriented ontologies. Such tools allow for the automation of multiple stages of ontology creation, including conceptual modeling, integration with external data sources, semantic alignment of heterogeneous datasets, and the management, visualization, and analysis of ontological structures. Thus, the proposed methodology serves as a foundation for developing intelligent measurement support systems within Industry 4.0 and IoT contexts, contributing to greater transparency, adaptability, and efficiency of modern cyber-physical systems.

Key words: Internet of Things, ontology, measurement, measurement channel, error, measuring instruments.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.07.2025

Прийнята до друку / Accepted 14.08.2025

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) — це технологія інтеграції фізичних пристроїв, які мають вбудовані вимірювальні канали та програмне забезпечення, яке дозволяє здійснювати передачу, опрацювання

інформації та її обмін через дротові та бездротові мережі в тому числі Інтернет (хмарні технології, ХТ) і використовувати її в своїх цілях.

Особливістю використання хмарних обчислень є поліпшення функціональності, масштабованості та ефективності опрацювання інформації. Це забезпечується в першу чергу можливістю використання [1]:

- доступу до великих обсягів даних зібраних від сенсорів та пристроїв IoT та їх доступності довільним пристроєм з інтернет-з'єднанням;

- аналізу даних шляхом надання програмних продуктів аналізу великих обсягів даних, в тому числі застосування методів кластерного аналізу (cluster analysis) – для класифікації об'єктів за групами завдяки виявленню їхніх спільних ознак, наприклад умов експлуатації; машинного навчання (machine learning) – створення нейронних мереж, які можуть бути використані для прогнозування зміни параметрів вимірювального каналу, коригування термінів калібрування сенсорів та метрологічної перевірки засобів вимірювання в цілому; методів цифрового опрацювання сигналів (signal processing) – для виявлення сигналів на фоні шумів та завад.

Реалізація в середовищі ХТ методів опрацювання великих обсягів вимірювальної інформації створює умови, коли користувачі отримують оперативний доступ про стан різного роду об'єктів (наприклад, сенсорів) та тенденції їх змін.

ФУНКЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ХТ, IoT в ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

ХТ та IoT створюють перспективи інноваційних рішень в галузі інформаційно-вимірювальних технологій (ІВТ). Насамперед це пов'язано з наявністю централізованого підключення та розміщення даних про функціонування сенсорів, приладів, автоматизованих систем до інтернет сервісів та можливістю застосування складних алгоритмів аналізу та опрацювання даних. Одночасно, використовуючи наявну базу інформації, створюються можливості для оптимізації процесів вимірювання, виявлення закономірностей у зміні характеристик засобів вимірювань і прогнозування потреб у калібруванні, що зрештою підвищує єдність і метрологічну надійність вимірювань [2].

Інтегруючи можливості ХТ, IoT та ІВТ з іншими бізнес-системами, такими як планування ресурсів підприємства (ERP) і системи управління якістю (QMS) можна оптимізувати виробничі та технологічні процеси організацій.

Виділяючи як основну для ІВТ та IoT проблему підвищення точності та мінімізації невизначеності результатів вимірювань, розглянемо основні причини їх виникнення та можливі шляхи мінімізації впливу інструментальних засобів (компонентів вимірювального каналу) та зовнішнього середовища на результат вимірювань.

Виділяючи проблему інструментальної обмеженості засобів вимірювань, перспективними напрямками зменшення невизначеності є процедура калібрування та застосування конструктивно-технологічних і структурно-алгоритмічних методів, зокрема, для мінімізації впливу навколишнього середовища (температура, вологість і електромагнітні завади). При опрацюванні результатів вимірювань, зазвичай, використовують, в основному, статистичні методи.

Особливо складним завданням є визначення та оцінка похибки і непевності вимірювань. Враховуючи, що їх основними причинами є шуми, завади та дрейфи компонентів вимірювального каналу (зокрема, сенсорів), мінімізація їх впливу може бути досягнута теж при використанні тих же процедур калібрування та статистичних методів, методів машинного навчання та цифрового опрацювання даних.

Інтеграція хмарних обчислень та методів самодіагностики може суттєво підвищити метрологічну надійність та ефективність роботи вимірювальних засобів, а також скоротити витрати на обслуговування та запобігання відмовам.

Таким чином, аналіз функціональних можливостей сумісного застосування технологій ХТ, IoT та ІВТ показує перспективність їх інтеграції для опрацювання результатів вимірювань та підвищення ефективності реалізації технологічних процесів.

Особливий ефект застосування ХТ в сфері метрології та ІВТ може забезпечити об'єднання даних вимірювань багатьох користувачів з метою розширення послуг хмарних платформ конкретному користувачу за рахунок використання інтегральної бази даних.

ПРОБЛЕМИ ІНТЕГРАЦІЇ ДАНИХ СИСТЕМ IoT в ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕННЯХ

Інтернет речей та хмарні обчислення є перспективним напрямком розвитку сучасного інформаційного середовища, однак на шляху їх інтеграції виникає ряд проблем. Серед них можна виділити:

- ✓ стандартизацію даних – IoT пристрої використовують різні протоколи та формати даних для обміну інформацією;
- ✓ масштабованість – IoT системи можуть включати велику кількість пристроїв, що викликає потребу в обробці та аналізі великих обсягів даних;
- ✓ наявність достатнього набору алгоритмів аналізу умов використання давачів, результатів

вимірювань, калібрування та метрологічної перевірки компонентів вимірювальних каналів;

✓ доступність – важливо, щоб ХТ забезпечували роботу IoT систем 24/7 та забезпечували якнайповніше інформаційне обслуговування потенційних користувачів.

Передбачається, що в результаті вирішення цих проблем ХТ можуть надавати послуги з рекомендаціями по прогнозуванню показників точності та невизначеності вимірювальних каналів, оптимізації міжкалібрувальних інтервалів, надійності в роботі компонентів систем IoT. Схема взаємодії систем IoT приведена на рисунку 1.

Відповідно до приведеної схеми, системи IoT (джерела даних) наповнюють сховище даних фактографічною інформацією. В структуру хмарних обчислень пропонується включити базу знань, що буде містити алгоритми опрацювання даних з метою видачі рекомендацій по покращенню функціонування як самих систем IoT, так і об'єктів на яких їх використовують.

До складу бази знань пропонується включити алгоритми оцінювання точності та невизначеності результатів вимірювань – визначення похибок, прогнозування їх майбутніх значень, законів розподілу їх випадкової складової, визначенні періодів калібрування та метрологічної перевірки вимірювальних каналів, прогнозування надійності роботи як системи IoT у цілому, так і її компонентів. Це тільки неповний перелік можливостей, які можна реалізувати при опрацюванні вмісту сховища даних.



Рис. 1. Схема взаємодії систем IoT

При цьому ми отримуємо також можливості:

- коригування похибки вимірювального каналу;
- оцінки невиключеної (залишкової) похибки та непевності вимірювального каналу;
- прогнозу поправки сенсора за індивідуальною математичною моделлю його дрейфу, що враховує як поточний стан, так і попередні зміни умов експлуатації, що впливають на величину дрейфу в масштабі часу час експлуатації [3, 4];

- обчислення скорегованого результату вимірювання та його зберігання;
- визначення індивідуальної сумарної похибки та непевності вимірювального каналу, порівняння її з допустимою похибкою, оперативне сповіщення про перевищення індивідуальної похибки вимірювального каналу допустимого значення та видача повідомлення про необхідність калібрування.

Представляється також перспективною розроблення на основі існуючої фактографічної бази рекомендацій стосовно параметрів вимірювальних каналів для користувачів, вимірювальні системи яких не використовують хмарні технології.

Враховуючи значну кількість сенсорів різної природи та призначення, різні умови їх експлуатації, необхідність врахування часу та умов експлуатації, використання різних математичних моделей розрахунку похибки та її складових, а також непевності, необхідність прогнозування майбутніх параметрів, різні формати представлення даних систем IoT в сховище даних виявляється необхідною розроблення уніфікованої концептуальної моделі даної предметної області, узгодження різних підходів до функціонування IoT в системі інтеграції та технології сховищ даних. Інструментом для розробки такої моделі пропонується використати апарат онтологій. В загальному випадку онтологія вимірювань - це галузь онтології, яка вивчає та формалізує

поняття, структури та взаємозв'язки, пов'язані з вимірюваннями. Вона повинна визначити та формалізувати поняття, такі як величина, одиниця вимірювання, точність, невизначеність, прогноз значень, та інші аспекти вимірювань.

В загальному випадку комп'ютерну онтологію можна представити як [5]:

$$O = \langle X, R, F \rangle, \quad (1)$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - множина концептів (понять) онтології вимірювань;

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ - множина семантичних відношень між поняттями;

F - множина функцій інтерпретації.

Онтології в загальному випадку поділяють на онтології верхнього рівня (top-level ontologies) та предметно-орієнтовані онтології (domain-oriented ontologies). Побудова та використання предметно-орієнтованих онтологій на відміну від онтологій верхнього рівня в сфері вимірювань актуальна і важлива з кількох причин:

- необхідності стандартизації термінології, ідентифікації понять в області вимірювань (особливо для нових засобів), що полегшує обмін даними між різними системами та джерелами інформації та сприяє однозначності та зрозумілості отриманих результатів;

- необхідності забезпечення інтеграції різних систем IoT в області вимірювань, що дозволяє зрозуміти взаємозв'язки та залежності між результатами вимірювань;

- необхідності поліпшення процесів прийняття рішень, які дозволяють визначити зв'язки між різними факторами (тривалість та умови експлуатації) та вимірюваннями;

- необхідності створити основу для автоматизації опрацювання та аналізу даних в сфері вимірювань. Це сприяє покращенню ефективності та точності обробки великих обсягів інформації;

- необхідності визначення правил та обмежень для вимірювань, що сприяють їх вдосконаленню за рахунок застосування процедур періодичної метрологічної перевірки (калібрування) та налаштування вимірювального каналу; дотриманню стандартів, що забезпечують єдність вимірювань; покращення умов вимірювань (температура, вологість, тиск), які можуть позитивно впливати на точність вимірювань; аналізу та корекції систематичних і випадкових складових похибки вимірювань;

- застосування додаткових сенсорів та збір додаткових даних для самодіагностики вимірювальних каналів з метою підвищення точності та метрологічної надійності отриманих результатів.

Отже, побудова та застосування предметно-орієнтованих онтологій в сфері вимірювань важлива для покращення спільного розуміння та обміну інформацією в цій області, що в свою чергу сприяє розвитку нових технологій, наукових досліджень та прийняттю обґрунтованих рішень.

Виходячи з приведених вище причин створення предметно-орієнтованої онтології на основі використання формули (1) можемо констатувати, що основними концептами та підконцептами у вербальній моделі онтології вимірювань є [5-7]:

- предметна область та її складові (підконцепти) - електрика і магнетизм, неелектричні вимірювання та інші;

- терміни даної предметної області та її складові (підконцепти) - фізична величина, одиниця вимірювань (шкала фізичної величини), реперні точки;

- сенсори (первинні перетворювачі) та їх складові (підконцепти) - вид вимірюваної фізичної величини, принцип дії, параметри, тип;

- вимірювальний канал (засіб вимірювання) та його складові (підконцепти) - комутатор, масштабний перетворювач, аналого-цифровий перетворювач, джерело опорної напруги, мікроконтролер (зчитувач цифрового коду), інтерфейс;

- умови експлуатації компонентів вимірювальних каналів (впливаючі фізичні величини, тривалість процесу експлуатації, час виходу з ладу), терміни калібрування (метрологічної перевірки);

- результати вимірювань (дані);

- види шумів, завад, впливу факторів експлуатації;

- похибка та її підконцепти - абсолютна та відносна похибки; статичні та динамічні похибки, клас точності;

- систематичні та невиключені похибки, обумовлені калібруванням, налаштуванням та врахуванням умов експлуатації;

- випадкові похибки, обумовлені різними причинами, але проявляють себе у вигляді квазістаціонарних сигналів при вимірюванні детермінованих сигналів.

У онтології вимірювань, як і в будь-якій іншій області онтології, концепти взаємозв'язані через різні співвідношення. Далі наведено деякі з основних відношень між концептами в онтології вимірювань:

1. Асоціація (Association) - відношення між двома концептами, які пов'язані між собою у певний спосіб, але не є ієрархічними чи порядковими. Наприклад, між концептом "температура" і "вимірювання" існує асоціація, оскільки температуру можна виміряти.

2. Частина-ціле (Part-Whole) - відношення, де один концепт є частиною іншого концепту. Наприклад,

"результат вимірювання" є частиною концепту "вимірювання".

3. Включення (Inclusion) - відношення вказує на те, що один концепт включає або охоплює інший концепт. Наприклад, концепт "фізичні величини" включає в себе концепт "температура".

4. Порядок (Order) - відношення може використовуватися для встановлення порядку між концептами. Наприклад, концепт "вимірювання" має порядок, який вказує на послідовність операцій, пов'язаних з вимірюванням.

5. Еквівалентність (Equivalence) - відношення вказує на те, що два концепти мають однакове значення або ідентичні за значенням. Наприклад, "температура" і "тепловий режим" можуть бути еквівалентними концептами.

6. Залежність (Dependency) - відношення вказує на те, що один концепт залежить від іншого. Наприклад, "точність вимірювання" може залежати від "вимірювального приладу".

Названі відношення допомагають в створенні систематичної та структурованої моделі вимірювань в онтології, що полегшує розуміння та використання вимірювальних концептів.

Основою для формування знань про предметну область є аксіоми та правила виводу знань (методи аналізу та опрацювання даних) в даній предметно-орієнтованій області. Це правила або методи, які використовуються для виводу нової інформації або узагальнених даних на основі існуючої інформації про предметну область. У вимірювальній онтології це, наприклад, методи опрацювання даних для виявлення та коригування похибок у вимірюваннях, уточнення термінів калібрування вимірювальних каналів та їх компонентів.

Ці методи використовуються для виконання опрацювання, аналізу та інтерпретації даних про вимірювання. Вони можуть включати кластерний аналіз, статистичні методи, методи машинного навчання або інші алгоритми для виявлення закономірностей або виокремлення важливих параметрів вимірювань.

Слід звернути увагу на ще одну сторону створення предметно-орієнтованої онтології в сфері вимірювань – проблему ідентифікації компонентів вимірювального каналу (сенсор, компоненти аналогового та цифрового каналу) тому, що в умовах їх експлуатації можлива зміна умов їх використання. Ця зміна може стосуватись і їх заміни в певних вимірювальних каналах. На сьогоднішній день немає єдиного підходу до ідентифікації даної проблеми в технологіях IoT.

Враховуючи всю складність повноцінних та адекватних предметно-орієнтованих онтологій для автоматизації процесу їх створення пропонується використання наступних програмних засобів:

- Protégé: один з найпопулярніших інструментів для створення онтологій. Він є відкритим і безкоштовним програмним засобом, який надає зручний графічний інтерфейс для моделювання онтологій за допомогою мови OWL (Web Ontology Language).

- OWL API: якщо ви хочете автоматизувати процес створення онтологій за допомогою програмного коду, ви можете використовувати OWL API, яка є бібліотекою для роботи з OWL у Java.

- PoolParty Semantic Suite: інструмент, який включає в себе різні компоненти для створення, редагування та управління онтологіями. Він також має можливості для автоматизації процесу створення онтологій.

- TopBraid Composer: підтримує роботу з RDF-даними та онтологіями і може бути використаний для розробки онтологій в сфері вимірювальних технологій.

- OntoStudio: надає інтегроване середовище для створення та редагування онтологій, і він може бути використане для моделювання вимірювань та пов'язаних аспектів.

- OWLAPI: OWLAPI - Java API для роботи з OWL-онтологіями. Використання цього API може бути корисним для програмістів, які хочуть взаємодіяти з онтологіями в сфері вимірювальних технологій за допомогою мови програмування Java.

- Semantic Turkey: може бути використаний для створення та редагування онтологій у сфері вимірювальних технологій. Він надає засоби для визначення та управління знаннями в цій області.

- PoolParty: може бути використаний для розробки онтологій в сфері вимірювальних технологій та допомагає в організації та категоризації даних.

Перед вибором інструменту важливо визначити конкретні вимоги проекту та перевірити, який інструмент найкраще відповідає потребам у моделюванні вимірювальних технологій. Ці інструменти можуть бути використані для автоматизації різних аспектів процесу створення програмно-орієнтованих онтологій у сфері вимірювань, таких як моделювання концептів, їх відносин та властивостей, інтеграція з іншими джерелами даних, а також управління та аналіз онтологій.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Створення онтології в галузі вимірювань допоможе уніфікувати процес збору даних систем IoT, забезпечити опрацювання та обмін інформацією між хмарними технологіями і системами IoT. Одночасно онтології дозволяють створювати більш складні та контекстуалізовані запитання до бази вимірювальної

інформації. Це послужить основою як для покращення якості систем IoT, так і бути корисною для забезпечення єдності розуміння в цій області, сприятиме стандартизації та покращенню якості вимірювань, а також створить умови для надання послуг з покращення вимірювальних систем для користувачів, що не використовують ХТ.

Література

1. Greengard Samuel The internet of things. - MIT press, 2021. – 296p.
2. Васілевський О. М. Концепція метрологічного забезпечення в індустрії 4.0. - Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 2020, № 2. - С.37-44.
3. Дорожовець М. М., Бубела І. В. Вплив випадкових відхилень у результатах вимірювань на непевність екстремальних спостережень. - Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник, 2018. – С. 5-11.
4. Яхновська Д. С. Автоматизація процедур статистичного аналізу результатів вимірювань / Д. С. Яхновська - Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2020. – 91 с.
5. Qiu Tie, et al. Edge computing in industrial internet of things: Architecture, advances and challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2020 – P. 2462-2488.
6. Goyal Parul, Sahoo Ashok Kumar, Sharma Tarun Kumar. Internet of things: Architecture and enabling technologies. Materials Today: Proceedings, 2021. –P. 719-735.
7. Samizadeh Nikoui, Tina, et al. Internet of Things architecture challenges: A systematic review. International Journal of Communication Systems, 2021, P.4678.

References

1. Greengard, S. (2021). *The internet of things*. MIT Press.
2. Vasilevskyi, O. M. (2020). The concept of metrological support in Industry 4.0. *Information Technologies and Computer Engineering*, (2), 37–44.
3. Dorozhovets, M. M., & Bubela, I. V. (2018). The influence of random deviations in measurement results on the uncertainty of extreme observations. *Measuring Equipment and Metrology: Interdepartmental Scientific and Technical Collection*, 5–11.
4. Yakhnovska, D. S. (2020). *Automation of statistical analysis procedures of measurement results*. Kharkiv National University of Radioelectronics.
5. Qiu, T., Chen, N., Li, K., Atiquzzaman, M., & Zhao, W. (2020). Edge computing in industrial internet of things: Architecture, advances and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2462–2488. <https://doi.org/10.1109/COMST.2020.2984880>
6. Goyal, P., Sahoo, A. K., & Sharma, T. K. (2021). Internet of things: Architecture and enabling technologies. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 719–735. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.593>
7. Samizadeh Nikoui, T., Shahraki, A., Alipour, A., & Badamchizadeh, M. A. (2021). Internet of things architecture challenges: A systematic review. *International Journal of Communication Systems*, 34(17), e4678. <https://doi.org/10.1002/dac.4678>