

УДК 004.02, 004.455.2

DOI: <https://doi.org/10.53920/ITS-2025-1;2-2>

Костянтин Олександрович ТКАЧЕНКО,

кандидат економічних наук, доцент,

доцент кафедри інженерії програмного забезпечення

Державного університету «Київський авіаційний інститут»,

доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ORCID ID: [0000-0003-0549-3396](https://orcid.org/0000-0003-0549-3396)

СИСТЕМИ ІОТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ:ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД

Складність систем ІоТ(IoT) потребує від розробників, та користувачів розуміння як структури, так і семантики, вбудованих в архітектуру системи ІоТ. Семантична онтологія ІоТ повинна підтримувати повне розуміння системних потоків, послуг та якостей.

У дослідженні розглянуто використання семантичних онтологій в системах ІоТ для організації комп'ютерних лабораторій навчальних закладів вищої освіти (університетів, інститутів тощо); проаналізовано можливості їх розширення, включивши відповідні семантичні визначення для критичних потоків, послуг та якостей у застосунках, що використовують ІоТ.

Метою роботи є аналіз та дослідження проблем використання ІоТ в комп'ютерних лабораторіях навчальних закладів вищої освіти та розробки відповідної онтологічної моделі всіх складових навчального процесу в приміщеннях (комп'ютерних лабораторіях), що використовують ІоТ.

Визначено, що розуміння системи ІоТ навчального процесу (зокрема, комп'ютерної лабораторії, яка забезпечує навчальний процес), її поведінки та продуктивності обумовлено відповідною онтологією ІоТ, яка включає не лише структурні визначення пристроїв, але й семантичне розуміння потоків, сервісів та показників якості як об'єктів системи, так і її відношень з об'єктами поза межами системи. Розглянуто онтології ІоТ відповідно до довідкової структури ІоТ, семантику потоку, сервісу та якості.

В статті запропоновано семантику системи ІоТ комп'ютерної лабораторії та сутностей у цій системі, визначивши її та розуміння семантики системних потоків, послуг та якостей. Семантика тріади <потік-сервіс-якість> забезпечує розширення архітектурної онтологічної моделі системи ІоТ, розвиваючи розуміння онтології ІоТ.

У цій роботі запропоновано використання тріади <потік-сервіс-якість>, щоб, зокрема: відповідна онтологічна модель системи IoT вписувалась в архітектуру системи IoT; онтології могли використовуватися для опису потоку, сервісів та якості в системах IoT.

В роботі запропоновано підхід, який передбачає надання можливості системі IoT, щоб її архітектура була спроможна розвиватися завдяки застосуванню концепції <потік-сервіс-якість> до управління процесами в системі IoT.

Ключові слова: Інтернет речей (IoT), система IoT, система IoT комп'ютерної лабораторії університету, онтологічне моделювання, онтологія системи IoT комп'ютерної лабораторії університету.

Kostiantyn TKACHENKO,

PhD of economical sciences, associate professor,
associate professor at the department of Software Engineering
State University "Kyiv Aviation Institute",
associate professor at the department of computer systems software
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

IoT SYSTEMS PROVIDING THE EDUCATIONAL PROCESS: AN ONTOLOGICAL APPROACH

The complexity of IoT systems requires developers and users to understand both the structure and semantics embedded in the IoT system architecture. The IoT semantic ontology should support a complete understanding of system flows, services, and qualities.

The research examines the use of semantic ontologies in IoT systems for organizing computer laboratories of higher education institutions (universities, institutes, etc.); analyzes the possibilities of their expansion by including relevant semantic definitions for critical flows, services, and qualities in applications using IoT.

The purpose of the work is to analyze and study the problems of using IoT in computer laboratories of higher education institutions and to develop an appropriate ontological model of all components of the educational process in premises (computer laboratories) using IoT.

It is determined that the understanding of the IoT system of the educational process (in particular, the computer laboratory that provides the educational process), its behavior and performance is determined by the corresponding IoT ontology, which includes not only structural definitions of devices, but also semantic understanding of flows, services and quality indicators of both system

objects and their relationships with objects outside the system. IoT ontologies are considered in accordance with the IoT reference structure, the semantics of flow, service and quality.

The article proposes the semantics of the IoT system of the computer laboratory and entities in this system, defining it and understanding the semantics of system flows, services and qualities. The semantics of the triad <flow-service-quality> provides an expansion of the architectural ontological model of the IoT system, developing an understanding of the IoT ontology.

This paper proposes the use of the triad <flow-service-quality> so that, in particular: the corresponding ontological model of the IoT system fits into the architecture of the IoT system; ontologies can be used to describe the flow, services and quality in IoT systems.

The paper proposes an approach that provides the opportunity for the IoT system to be able to develop its architecture by applying the concept <flow-service-quality> to process management in IoT systems.

Keywords: Internet of Things (IoT), IoT system, IoT system of the university computer laboratory, ontological modeling, ontology of the IoT system of the university computer laboratory.

Постановка проблеми. В наш час розвиток освіти, рівень знань та компетенцій, які надаються особам, що навчаються (студентам, курсантам, учням тощо) визначає можливість/неможливість забезпечення безперервного технологічного та культурного розвитку як окремої особи, так і суспільства та країни в цілому.

Вимоги до системи освіти постійно зростають, тому виникає необхідність формування цілісної сфери в IT-галузі – сфері інтелектуальних навчальних технологій. Ці технології можуть передбачати, зокрема, застосування Інтернету речей (*Internet of Things, IoT*) [1], що ґрунтується на сучасних моделях (наприклад, таких як онтологічні [2], семантичні [3], нейромережеві [4]) об'єктів і процесів навчання.

Застосування інтелектуальних технологій обумовлює створення освітніх IoT-рішень для потреб навчального закладу вищої освіти, включаючи розробку відповідного апаратного та програмного забезпечення, орієнтованого на цілі та задачі, що сформульовані для відповідних освітніх програм, акредитованих у навчальному закладі вищої освіти.

Рівень впливу освітніх IoT-рішень на ефективність навчального процесу залежить, зокрема, від:

- *організаційного забезпечення* (наприклад, де і як проводяться навчальні заняття, яким чином контролюється стан відповідного приміщення (лекційної аудиторії чи комп'ютерного класу);

- *матеріально-технічного забезпечення* (датчиків та контролерів, які слідкують, наприклад, за чистотою повітря в аудиторії, його вологістю, рівнем шуму, освіщеності тощо);
- *інформаційно-технологічного забезпечення* (функціонування, наприклад, «розумних» комп'ютерних аудиторій/класів/лабораторій).

Правильна організація роботи комп'ютерної аудиторії, яка використовує інтелектуальні освітні IoT-рішення, є актуальною проблемою організації на управління навчальним процесом, яка потребує свого вирішення шляхом використання сучасних технологій та відповідного моделювання об'єктів і процесів, які відбуваються в таких «розумних» комп'ютерних лабораторіях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В наш час багато університетів впроваджують так звані «розумні» комп'ютерні лабораторії (їх інколи називають). Наприклад, лабораторія комп'ютерного 3D-моделювання та 3D-аналізу [6], розроблена по освітній програмі TEMPUS «MMATENG».

Лабораторію укомплектовано сучасними робочими станціями з професійними моніторами для 3D-моделювання. Операційне середовище та сучасне прикладне програмне забезпечення надають можливість проводити заняття з багатьох дисциплін, зокрема, з дисциплін: «Інформатика, обчислювальна техніка та числові методи», «Тривимірне комп'ютерне моделювання деталей і виробів», «Проектування конструкцій з порошкових композиційних матеріалів», «Використання ПК та комп'ютерних моделей в інженерній практиці», «Використання ПК в інженерних розрахунках», «Комп'ютерний дизайн матеріалів» та інші.

Навчальна комп'ютерна лабораторія факультету економіки та управління, створена у Тернопільському національному економічному університеті [7], є науково-навчальним підрозділом THEU. Метою створення і діяльності цієї лабораторії є:

- забезпечення на високому науково-технічному рівні навчальний процес університету, проведення практичних та лабораторних занять з використанням прикладних програм;
- автоматизованого виконання підсумкових модульних, комплексних контрольних робіт та завдань;
- здійснення трансферу технологій у рамках науково-технічної і виробничої кооперації з промисловістю та підприємництвом, формування інноваційного підприємницького середовища;
- адаптація навчальної та наукової діяльності до вимог європейського науково-освітнього простору;
- міжнародне наукове та освітнє співробітництво з університетами-партнерами.

Навчальна комп'ютерна лабораторія факультету міжнародного бізнесу та менеджменту, створена у Тернопільському національному економічному університеті [8], здійснює комп'ютеризовану підтримку навчального процесу на факультеті.

Працівники лабораторії забезпечують мультимедійними комплексами проведення занять з фахових дисциплін, що читаються випусковими кафедрами.

Вільна лабораторія робототехніки та мікроелектроніки Relab в Київському національному університеті [9] стала платформою для тих, хто хоче навчатися, розвиватися, знаходити однодумців та колег, реалізовувати власні ідеї та стартапів, першим з яких був проєкт автоматизованої системи догляду за кімнатними рослинами «Eco-Vox».

Головним в цій лабораторії є вивчення робототехніки та використання IoT.

В лабораторії робототехніки та електроніки Relab є комплект обладнання для створення радіоелектронних та мікропроцесорних систем з готових компонентів і подальшого їх дослідження, налагодження, серед яких паяльні станції, мультиметри, висококласний осцилограф, лабораторні джерела електроживлення. 3D-принтер використовується при створенні вузлів механізмів чи цікавих об'єктів з пластику.

Лабораторія забезпечена найнеобхіднішими компонентами електронних схем, матеріалами для виготовлення плат, а також мікроконтролерами і датчиками, що з одного боку підтримують ідею використання IoT в лабораторії, а з іншого – використовуються при реалізації ідей студентів та молодих вчених.

Лабораторія підтримує проєкт системи online-моніторингу клімату в навчальному корпусі (можна в режимі реального часу побачити температуру в різних частинах приміщення лекційної аудиторії), системи розумного поливу та установки авторизованого доступу.

Планується використання технології IoT для створення систем енергозбереження, контролю освітлення, клімат-контролю, автоматизованого прибирання в корпусі, авторизованого доступу до систем IoT тощо.

В Львівській політехніці працює «розумна» IoT-лабораторія [5]. Студенти кафедри комп'ютеризованих систем автоматики вивчають тут такі предмети як «Електроніка і цифрова схемотехніка», «Мікроконтролери» та «Сенсори і виконавчі механізми».

Створення такої інноваційної лабораторії IoT обумовило більш тісну співпрацю з місцевими підприємствами, готуючи спеціалістів з так званих «розумних» пристроїв, починаючи з їхнього проєктування і завершуючи готовими прототипами, складеними з деталей, надрукованими за допомогою 3D-принтера.

Незважаючи на велику кількість досліджень щодо аналізу використання IoT в системі освіти приділяється недостатньо уваги проблемам системного підходу з позицій єдиного онтологічного підходу до створення і відкриття дійсно «розумних» систем, що використовують IoT в освіті, зокрема в спеціалізованих комп'ютерних лабораторіях.

Мета статті. Метою роботи є аналіз та дослідження проблем використання IoT в комп'ютерних лабораторіях навчальних закладів вищої освіти та розробки відповідної онтологічної моделі всіх складових навчального процесу в приміщеннях (комп'ютерних лабораторіях), що використовують IoT.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нині вимоги до освіти значно зросли, тому інтелектуалізація навчання необхідна вирішення багатьох проблем сучасної освіти. Застосування IoT у навчальному процесі сприяє, зокрема:

- підвищення ефективності роботи університету;
- безпеки проживання у студентських містечках;
- підвищенню якості освіти тощо.
- покращена система управління безпекою за рахунок впровадження IoT в освіті.

Освітня мережа IoT дозволяє адміністрації налаштовувати плани безпеки за допомогою бейджів, маячків, дверних та віконних датчиків.

Мережа IoT широко використовується в багатьох університетах для створення різних програм боротьби зі зловмисниками, погодними загрозами/катастрофами та іншими ризиками безпеки.

Крім того, викладач може привернути увагу студентів варіацією світла. Інформація, що збирається IoT в режимі реального часу, може використовуватися для прогнозування та аналізу дій студентів для створення ефективної системи навчання (ефективного навчального середовища).

Використання IoT в освіті знижує споживання енергії: Освітлення та інші об'єкти можуть бути автоматизовані. Наприклад, світло може бути встановлене за розкладом або джерела світла можуть бути підключені до датчиків присутності, які відключаються, коли в аудиторії нікого немає. Скорочуються втрати енергії, внаслідок чого економляться кошти університету.

Ефективність роботи підвищується з використанням IoT в освіті. Системи IoT з'єднують студентів з університетами по всьому світу і надають їм доступ до них. Це створює платформу для взаємодії з глобальними освітніми системами та підвищує якість освіти.

Застосування IoT в організації та управлінні навчальним процесом забезпечує, зокрема:

Моніторинг температури та вологості: Різні приміщення в університеті потребують різної температури та вологості через різні види діяльності. Наприклад, спортзал, актовий зал або танцювальна студія, лекційні навчальні аудиторії, комп'ютерні, хімічні лабораторії мають різні вимоги до температури та вологості.

Адміністрація університету може підключити температурні датчики та датчики/контролери вологості через так звані «розумні» розетки. Як тільки датчики виявляють аномальні зміни, спрацює відповідна сигналізація.

Управління відвідуваністю: Спеціальні маячки використовуються для підвищення ефективності та точності автоматизованого контролю/моніторингу відвідування. У кожного студента свій маячок, місцезнаходження якого відстежується в режимі реального часу. Крім управління відвідуваністю, маячки також допомагають підвищити безпеку студентського містечка.

Зменшення трафіку в студентському містечку: Паркувальні маячки можна встановити на місцях паркування, у тому числі місцяхгурто для паркування велосипедів. Коли школа входить у кампус, система повідомить водія, де паркувальне місце вільне, і місце розташування автомобіля можна перевірити на програмному забезпеченні, так що не потрібно турбуватися про те, де припарковано автомобіль.

До того ж, шкільні автобуси в школах також можуть бути оснащені маяками, щоб батьки могли знати, коли автобус під'їде до їхніх дверей і чи безпечно прибувати до школи. більше того, Зарядні станції для електромобілів можна побачити досить часто в кампусі, а сталий розвиток та захист навколишнього середовища є спільною метою у суспільстві.

Відстеження активів: Університетське обладнання є важливим активом. Орендовані ноутбуки, лабораторне обладнання, навчальні матеріали та багато іншого можна відстежувати за допомогою маячків та датчиків руху. Маячки забезпечують розміщення активів у потрібному місці та їх правильне використання завдяки прозорому розташування активів.

Моніторинг енергії: Використання енергії кожним об'єктом також можна відстежувати в режимі реального часу після підключення до інтелектуальної розетки. Кількість енергії, яку кожен пристрій використовує за (у) певний час, можна контролювати. Якщо деякі пристрої перевищують ліміт часу, то буде спрацювати сигнал тривоги для інформування відповідного персоналу.

Моніторинг використання об'єктів: Підключивши датчики руху та індикатори зайнятості до Інтернету, можна отримати доступ до обладнання та використання приміщення, особливо в таких місцях, як бібліотеки або

комп'ютерні лабораторії. Доступ до статусу заняття можна легко отримати, а планування включене за допомогою рішення IoT.

Отримати миттєве повідомлення: Швидкість надходження повідомлень з дошки оголошень та групових повідомлень низька. Але якщо маячки встановлені на території студентського містечка, університети можуть надсилати повідомлення студентам номери мобільних телефонів, а викладачі можуть використовувати маячки Bluetooth, щоб надсилати нагадування про заняття та призначати індивідуальні завдання.

Моделювання на основі тріади <Потік-Сервіс-Якість> стає підґрунтям розуміння роботи складних систем IoT, в яких динамічно можуть змінюватися і компоненти системи, і їхні взаємозв'язки (відношення між собою) [10].

Використання онтологічного моделювання [11] обумовлює покращення роботи та можливостей великих систем IoT, гарантуючи, що розробники та користувачі цих систем будуть мати можливість працювати вже безпосередньо з:

- потоком (інформації, сигналів керування від різноманітних IoT-пристроїв);
- послугами, що надаються компонентами IoT-системи (її сутностями);
- показниками якості взаємодії компонентів всередині IoT-системи та з оточуючим середовищем.

Сукупність (множина) взаємодіючих компонентів (часто навіть асинхронно) використовує чи навпаки надає певний набір послуг для задоволення відповідних вимог, що висуваються організацією та управлінням навчальним процесом у навчальному закладі вищої освіти (наприклад, університеті).

Ці вимоги можуть вимагати певного рівня продуктивності, надійності та безпеки навчального процесу.

Структури потоків (інформації чи сигналів керування від різноманітних IoT-пристроїв комп'ютерної лабораторії університету) використовують якість показників продуктивності, надійності та безпеки навчального процесу для прийняття рішень про сутність виконання умов оптимального та ефективного навчального процесу.

Потоки реагують на сервіси, призначенням яких є задоволення вимог, що висуваються навчальним процесом, його організацією та управлінням. Ці сервіси можуть виконувати/обробляти потоки рекурсивно.

Система IoT комп'ютерної лабораторії університету з'єднує фізичні активи (сутності), такі як датчики, виконавчі механізми та обчислювальні

пристрої, через мережу з центром контролю, який контролює, моніторить чи за потреби активує сервіси кожного суб'єкта системи IoT.

Ефективне функціонування системи IoT комп'ютерної лабораторії університету обумовлюється наявністю відповідної онтологічної моделі. Розглянемо декілька вонять, що необхідні для розуміння онтологічного моделювання системи IoT.

Віртуальна сутність – це віртуальне представлення фізичних пристроїв (датчиків, контролерів тощо), присутніх у відповідній моделі системи IoT.

В системах IoT обов'язково представлені всі ці фізичні пристрої (об'єкти, сутності) та їхні властивості за допомогою відповідних віртуальних сутностей.

Всі фізичні сутності повинні описувати характер інформаційних потоків між цими пристроями та сутностями сервісу.

При зміні стану пристрою система IoT повинна оновлювати віртуальну сутність та синхронізувати її з реальним фізичним пристроєм (його характеристиками, властивостями, відношеннями тощо).

Зміна стану може бути:

- однаправленою, коли фізичний пристрій просто повідомляє систему IoT про оновлення свого віртуального стану;
- двонаправленою, коли зміна у віртуальній сутності, наприклад, контролеру вологості повітря у приміщенні комп'ютерної лабораторії університету, призводить до зміни самого фізичного пристрою (в нашому випадку – контролеру) та надання відповідного підтвердження від пристрою, що зміна стану відбулася і пристрій готовий до продовження роботи.

Таким чином, віртуальна сутність ініціює інформаційний потік, який інформує фізичний пристрій (фізична сутність) системи IoT про надання відповідного сервісу (наприклад, увімкнення/вимкнення, відкриття/закриття, зміна температури тощо), а фізична сутність (фізичний пристрій) інформує віртуальну сутність про зміну свого стану.

Якість системи IoT оцінюється порівнянням продуктивності сервісу з вимогами бажаного рівня обслуговування навчального процесу чи його складових у комп'ютерній лабораторії університету та підтвердженням досягнутої точності потоків (інформації, сигналів керування від різноманітних IoT-пристроїв) в обох напрямках.

В таких моделях IoT, як, наприклад, ISO, SAE, ARM [12] забезпечуються загальні рамки системи IoT (в тому числі й такої, що підтримує навчальний процес), і онтології IoT та еталонні моделі, зазвичай, зосереджені на визначенні сутностей, їх властивостей та елементів керування системи IoT.

Технології на основі вузлів, такі як OPC UA (*Open Process Connectivity Unified Architecture*) [13], спочатку були розроблені для автоматизації промислових процесів, починають знаходити широке впровадження в інших галузях, включаючи системи IoT навчального процесу [14].

В таких системах бази даних часто мають формат так званого «потрійного» сховища, використовуючи такі технології, як формат опису ресурсів (RDF) [15]. та мову веб-онтологій (OWL) [16].

Онтологічна модель описує:

- властивості, які слід ідентифікувати для поведінки кожної фізичної сутності (пристрою) та відношень між станами фізичних та віртуальних сутностей;
- сервіси, що надаються відповідною сутністю;
- інформаційні потоки між сутностями;
- функції так званого «контролю» відповідної сутності;
- показники якості сервісів і потоків у моделі.

Таким чином, в системах IoT онтологія представляє дещо більше, ніж просто пристрої [17].

Визначення концепцій якості обслуговування потоків в онтології IoT.

Розробники IT-систем використовують онтології для найменування і визначення типів, властивостей та зв'язків сутностей у системах.

Це часто робиться за допомогою мов моделювання, таких як Resource Description Framework (RDF) [15].

В системах IoT вони використовуються для визначення фізичних сутностей (наприклад, датчиків, контролерів тощо в комп'ютерній лабораторії університету).

В онтології IoT тип може використовуватися, зокрема:

- для узагальнення конкретного як категорії;
- або кожен тип може бути пов'язаний з конкретною парою <віртуальна сутність – фізична сутність>.

Окрім визначення об'єктів предметної області, що розглядається, доцільно визначити сутності послуг в онтології IoT системи.

Наприклад. сервіс «Встановити значення» надається сутністю, яку можна використовувати за умови (true/false).

Такий сервіс можна використовувати, наприклад, для контролю/моніторингу вологості повітря, температури, рівня шуму тощо у комп'ютерній лабораторії університету.

Якщо рівень вологості, наприклад, перевищує 75%, то стан умови «Активно» зміниться з true на false.

Таким чином, онтологія IoT пропонує визначення сервісу, що надається фізичною сутністю (відповідним фізичним пристроєм).

Сигнал, який запускає умову, що активує та виконує сервіс, є одним з типів «потоків» в онтології IoT. Потік у цьому випадку є механізмом «керування», який змінює стан сутності.

Потік також може бути інформацією, що надається сутністю системи IoT про її стан чи властивості.

У системі IoT віртуальна сутність повинна поділитися новим станом з менеджером системи IoT. У системі IoT потік може надавати інформацію.

Онтологія IoT описує якість сервісу, що надається фізичною сутністю, та якість потоку інформації, що виконується функцією керування.

Семантична онтологія та управління системою IoT. Потоки можна визначити в онтології. В системі IoT комп'ютерної лабораторії університету повинне існувати процес для управління потоками між фізичними сутностями для отримання бажаного функціонування системи IoT.

За допомогою відповідного фреймворку в системі IoT може здійснюватися визначення дій щодо управління процесами, які виконуються з використанням моделювання (як системи в цілому, так і окремого процесу, зокрема) та виконання процесів, що пов'язує віртуальну сутність моделі з сервісом, що надається фізичним пристроєм.

Управління процесами системи IoT контролює потоки:

- використовуючи при цьому відповідні онтологічні підмоделі цілісної моделі комп'ютерної лабораторії університету;
- розпізнаючи властивості окремих сутностей;
- викликаючи сервіси;
- розподіляючи ресурси в системі IoT для виконання заданої зміни стану сутності/системи.

Менеджер системи IoT:

- контролює виконання потоку;
- динамічно оновлює поточний стан системи під час її функціонування;
- визначає кінцевий стан системи після завершення потоку.

Вимоги до якості потоку постійно контролюються, і рішення про продовження або завершення потоку приймаються на основі того, чи досягає потік необхідних рівнів якості в системі IoT.

Систему, яка відповідає встановленим значенням для свого стану, відношень між потоками та виконання сервісів, можна вважати високофункціональною системою IoT. Менеджер системи IoT виконує контроль/моніторинг потоку (згідно з відповідною інструкцією), та сервісів, взаємодіючи з функцією поєднання сервісів.

Основні компоненти програмного забезпечення системи IoT:

- виконують сервіси системи IoT;

- координують завдання, що передаються фізичним сутностям (потокам чи сервісам);
- інформують про різні показники якості, надаючи відповідну інформацію до компонента, що реалізує функцію виконання процесів.

Менеджер системи IoT може:

- використовувати отриману інформацію про якість та стан наприклад, фізичних пристроїв, оновлювати властивості якості сервісів, що є у поточному стані системи IoT;
- змінювати процес та маршрут проходження потоку;
- завершувати процес проходження потоку на основі правил конкретної системи IoT.

Віртуальні сутності (як функціональний компонент системи) надає можливість користувачам отримувати доступ до онтології IoT, щоб самостійно відслідковувати прогрес потоку та його параметри якості, отримувати повідомлення про, наприклад, завершення потоку тощо.

Робота виконувалась в рамках міжнародного проєкту "NEXT" (Digital Transformations for Supporting Next-Generation Labour) (Програма Erasmus+ KA2 CBHE)

Висновки та пропозиції. Семантика тріади <потік-сервіс-якість> забезпечує розширення архітектурної онтологічної моделі системи IoT, розвиваючи розуміння онтології IoT.

У цій роботі запропоновано використання тріади <потік-сервіс-якість>, щоб, зокрема:

- відповідна онтологічна модель системи IoT вписувалась в архітектуру системи IoT;
- онтології могли використовуватися для опису потоку, сервісів та якості в системах IoT.

В роботі запропоновано підхід, який передбачає надання можливості системі IoT, щоб її архітектура була спроможна розвиватися завдяки застосування концепції <потік-сервіс-якість> до управління процесами в системі IoT.

В подальшому ідеї, викладені в цій статті, будуть використані для підвищення надійності, функціональності та адаптивності систем IoT забезпечення навчального процесу в університеті та його складових.

Це обумовить розвиток не лише системи IoT комп'ютерної лабораторії університету, а й сприятиме розробці так званої «розумної» комп'ютерної лабораторії, об'єкти і процеси якої будуть спиратися на відповідні онтологічні моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інтернет речей. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Інтернет_речей (дата звернення: 29.05.2025).
2. Основні моделі представлення знань. Онтологія. URL: https://elib.intu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/123%20посібник%20комп%27ютерна%20інженерія/page10.html (дата звернення: 30.05.2025).
3. Тимофієва Н.К. (2018) Семантичне моделювання та комбінаторна оптимізація. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, № 3(2). С. 101–106. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2018_3%282%29_18 (дата звернення: 29.05.2025).
4. Харченко В. О. Моделювання нейронних мереж : навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 2024. 263 с.
5. Львівська політехніка надбала ще одну «розумну» лабораторію – для бакалаврської програми «Інтернет речей». URL: <https://www.youtube.com/watch?v=V5Xg-8qn4IA&list=PLy0KfFTSQovnDxekI5xQ36ZKDTHE5y3G&index=2> (дата звернення: 29.05.2025).
6. Лабораторія комп'ютерного 3D моделювання та 3D аналізу. URL: <https://imz.kpi.ua/uk/13-laboratoriya-komp-yuternogo-3d-modelyuvannya-ta-3d-analizu.html> (дата звернення: 29.05.2025).
7. Навчальна комп'ютерна лабораторія ФЕУ. URL: <https://www.wunu.edu.ua/educational-subdivisions/faculty/feu/educational-computer-laboratory-feu/806-navchalna-kompyuterna-laboratoriya-feu.html> (дата звернення: 28.05.2025).
8. Навчальна комп'ютерна лабораторія. URL: <https://www.wunu.edu.ua/educational-subdivisions/faculty/fmbm/educational-> (дата звернення: 28.05.2025).
9. DOU Проектор: Relab – вільна лабораторія робототехніки та мікроелектроніки в КНУ. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/dou-projector-relab/> (дата звернення: 28.05.2025).
10. Hevner, A., Linger, R., Pleszkoch, M., Prowell, S., & Walton, G. (2009). Flow-Service- Quality (FSQ) Systems Engineering. *Systems Analysis and Design: Techniques, Methodologies, Approaches, and Architectures*, 15, 11.
11. Ткаченко О., Ткаченко К., Боняр М. (2020). Онтологічне моделювання процесів навчання. *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*, 3(2), 109–121. <https://doi.org/10.31866/2617-796x.3.2.2020.220580>.
12. Addressing the latest and greatest in automotive product security: Arm's journey toward ISO/SAE 21434. URL: <https://developer.arm.com/community/arm-community-blogs/b/automotive-blog/posts/automotive-product-security> (дата звернення: 29.05.2025).
13. OPC Foundation. (2016). OPC Unified Architecture: Interoperability for Industrie 4.0 and the Internet of Things. URL: <https://opcfoundation.org/wp-content/up->

loads/2016/05/OPC-UA-Interoperability-For-Industrie4-and-IoT-EN-v5.pdf (дата звернення: 29.05.2025).

14. Ткачов С.І., Ткачов А.С., Махновський С.С. (2024). Використання Інтернету речей у галузі освіти. *Інформаційно-комунікаційні технології в освіті*. 69 (2). С. 245–249. <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2024/69.2.51>.

15. Resource Description Framework. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Resource_Description_Framework (дата звернення: 30.05.2025).

16. Pessemier W., Raskin G., Van Winckel H., Deconinck G., Saey P. (2013). A practical approach to ontology-enabled control systems for astronomical instrumentation. URL: [arXiv preprint arXiv:1310.5488](https://arxiv.org/abs/1310.5488) (дата звернення: 30.05.2025).

17. Kumar V. (2015). Ontology Based Public Healthcare System in Internet of Things (IoT). *Procedia Computer Science*, 50. P. 99-102.

REFERENCES

1. Internet of Things. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Інтернет_речей (Accessed 29 May 2025).

2. Basic models of knowledge representation. Ontology. URL: https://elib.intu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/123%20посібник%20комп%27ютерна%20інженерія/page10.html (Accessed 30 May 2025).

3. Timofieva N.K. (2018) Semantic modeling and combinatorial optimization. *Bulletin of the Kherson National Technical University*, № 3(2). P. 101–106. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2018_3%282%29_18 (Accessed 29 May 2025).

4. Kharchenko V. O. Modeling neural networks: textbook. Sumy: Sumy State University, 2024. 263 p.

5. Lviv Polytechnic University has acquired another “smart” laboratory – for the bachelor’s program “Internet of Things. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=V5Xg-8qn4IA&list=PLy0KfFTSQovnDxekI5xQ36ZKDTHIE5y3G&index=2> (Accessed 29 May 2025).

6. Laboratory of Computer 3D Modeling and 3D Analysis. URL: <https://imz.kpi.ua/uk/13-laboratoriya-komp-yuternogo-3d-modelyuvannya-ta-3d-analizu.html> (Accessed 29 May 2025).

7. FEU Educational Computer Laboratory. URL: <https://www.wunu.edu.ua/educational-subdivisions/faculty/feu/educational-computer-laboratory-feu/806-navchalna-kompyuterna-laboratoriya-feu.html> (Accessed 28 May 2025).

8. Educational computer laboratory. URL: <https://www.wunu.edu.ua/educational-subdivisions/faculty/fmbm/educational> (Accessed 28 May 2025).

9. DOU Проєктор: Relab – вільна лабораторія робототехніки та мікроелектроніки в КНУ. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/dou-projector-relab/> (Accessed 28 May 2025).

10. Hevner, A., Linger, R., Pleszkoch, M., Prowell, S., & Walton, G. (2009). Flow-Service- Quality (FSQ) Systems Engineering. *Systems Analysis and Design: Techniques, Methodologies, Approaches, and Architectures*, 15, 11.
11. Tkachenko O., Tkachenko K., Boniar M. (2020). Ontological modeling of learning processes. *Digital platform: information technologies in the socio-cultural sphere*, 3(2), 109–121. <https://doi.org/10.31866/2617-796x.3.2.2020.220580>.
12. Addressing the latest and greatest in automotive product security: Arm's journey toward ISO/SAE 21434. URL: <https://developer.arm.com/community/arm-community-blogs/b/automotive-blog/posts/automotive-product-security> (Accessed 29 May 2025).
13. OPC Foundation. (2016). OPC Unified Architecture: Interoperability for Industrie 4.0 and the Internet of Things. URL: <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2016/05/OPC-UA-Interoperability-For-Industrie4-and-IoT-EN-v5.pdf> (Accessed 29 May 2025).
14. Tkachev S.I., Tkachev A.S., Makhnovsky S.S. (2024). Using the Internet of Things in Education. *Information and Communication Technologies in Education*. 69 (2). P. 245–249. <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2024/69.2.51>.
15. Resource Description Framework. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Resource_Description_Framework (Accessed 30 May 2025).
16. Pessemier W., Raskin G., Van Winckel H., Deconinck G., Saey P. (2013). A practical approach to ontology-enabled control systems for astronomical instrumentation. URL: [arXiv preprint arXiv:1310.5488](https://arxiv.org/abs/1310.5488) (Accessed 30 May 2025).
17. Kumar V. (2015). Ontology Based Public Healthcare System in Internet of Things (IoT). *Procedia Computer Science*, 50. P. 99–102.

СТАТТЯ НАДІЙШЛА ДО РЕДАКЦІЇ 01.06.2025