

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-355-44>
УДК 004.51

ЛУК'ЯНЕЦЬ МИХАЙЛО

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

<https://orcid.org/0009-0006-0083-391X>

e-mail: mihaill.lukjanec@gmail.com

СУЛЕМА ЄВГЕНІЯ

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

<https://orcid.org/0000-0001-7871-9806>

e-mail: sulema@pzks.fpm.kpi.ua

ВИСОКОРІВНЕВА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ ПОТОКОВИХ ТЕМПОРАЛЬНИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ДАНИХ МЕРЕЖ ПРИСТРОЇВ ІОТ

Ця стаття присвячена розробленню високорівневої архітектури системи для відображення поточних темпоральних мультимодальних даних, генерованих пристроями ІоТ. Актуальність дослідження обумовлена швидким зростанням кількості ІоТ-пристроїв та необхідністю ефективного управління великими потоками даних для оперативного прийняття рішень у різних сферах, таких як промисловість, розумне місто та екологічний моніторинг. У роботі розглянуто ключові компоненти архітектури: блоки роботи з пристроями ІоТ, угруповання даних та відображення, що забезпечують збирання, оброблення, агрегування та візуалізацію даних у реальному часі. Гнучкість запропонованої архітектури дозволяє адаптувати систему до різних умов використання та забезпечує масштабованість при зростанні обсягів даних. Рішення, представлене в статті, може бути застосоване для розроблення програмного забезпечення відображення ІоТ-даних.

Ключові слова: інженерія програмного забезпечення, архітектура програмної системи, візуалізація, потокові дані, Інтернет речей.

MYKHAILO LUKIANETS, YEVGENIYA SULEMA

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

HIGH-LEVEL ARCHITECTURE OF A STREAMING TEMPORAL MULTIMODAL DATA VISUALIZATION SYSTEM FOR IOT DEVICE NETWORKS

This article focuses on the development of a high-level architecture for visualizing streaming temporal multimodal data generated by Internet of Things devices. The increasing number of IoT devices and the need to manage large data streams for real-time decision-making in sectors such as industry, smart cities, and environmental monitoring underline the relevance of this research. IoT systems generate vast amounts of complex data from various sensors, cameras, and other devices, which need to be processed and visualized for effective analysis and decision-making.

The proposed architecture is composed of three main components: the IoT device interaction block, the data aggregation block, and the data visualization block. These components work together to enable data collection, processing, aggregation, and real-time visualization. The IoT device interaction block collects data from diverse IoT devices and ensures the data is properly formatted for further processing. The data aggregation block organizes the data streams based on temporal characteristics, preparing them for visualization. Finally, the data visualization block presents the aggregated data in user-friendly visual formats, facilitating quick and accurate decision-making.

A key feature of the architecture is its flexibility. It can be adapted to various environments, supporting both centralized and decentralized configurations. In centralized systems, all components can reside on a single server or machine, simplifying data transmission. In decentralized deployments, the system can process data across multiple servers, reducing latency and improving performance. The system's modular design ensures scalability, allowing it to grow with the increasing volume of data generated by IoT devices.

In conclusion, the proposed architecture provides a scalable and flexible solution for visualizing streaming IoT data. Its ability to handle large volumes of data and provide real-time insights makes it suitable for a wide range of applications, including smart cities, industrial automation, and environmental monitoring.

Keywords: software engineering, software system architecture, visualization, streaming data, Internet of Things.

Стаття надійшла до редакції / Received 08.05.2025

Прийнята до друку / Accepted 06.06.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасні мережі Інтернету речей (ІоТ) генерують значні обсяги поточних темпоральних даних, які надходять у режимі реального часу. Ці дані є цінним джерелом інформації для моніторингу стану систем, аналізу тенденцій і прийняття оперативних рішень. Однак самі по собі великі масиви даних не є корисними без належного представлення, що робить візуалізацію важливим елементом систем ІоТ [1].

Ефективна візуалізація поточних даних дає можливість користувачам швидко сприймати інформацію, ідентифікувати аномалії та приймати обґрунтовані рішення. Наприклад, у промислових ІоТ-системах, що контролюють роботу обладнання, вчасне виявлення відхилень у показниках може запобігти аваріям і скоротити витрати на обслуговування. У міських системах розумного міста оперативне представлення даних про трафік або споживання ресурсів допомагає ухвалювати ефективні управлінські рішення.

Розроблення високорівневої архітектури системи візуалізації поточних темпоральних даних є важливим завданням, оскільки її наявність може значно пришвидшити створення нових рішень у цій сфері.

Визначення чіткої архітектури спрощує інтеграцію компонентів, забезпечує масштабованість і дозволяє розробникам швидше адаптувати систему до специфічних потреб користувачів. Це сприятиме ефективному впровадженню IoT-систем у сферах, де швидке реагування на зміни є критично важливим.

Аналіз досліджень та публікацій

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється розробленню архітектур та методів візуалізації для оброблення поточкових темпоральних мультимодальних даних, що генеруються мережами пристроїв Інтернету речей (IoT).

У сучасних дослідженнях, присвячених архітектурам для оброблення та візуалізації поточкових темпоральних даних у мережах IoT, значна увага приділяється розробці ефективних методів аналізу та представлення великих обсягів інформації. Зокрема, у статті [2] дослідники пропонують нову архітектуру для аналітики великих даних IoT, обговорюючи типи аналітики, методи та технології для оброблення великих даних, а також підкреслюють важливість візуалізації як одного з ключових напрямків майбутніх досліджень.

Дослідження [3], надає всебічний огляд методів, інструментів та технік візуалізації для IoT, підкреслюючи важливість ефективних методів представлення інформації для підтримки прийняття рішень. Автори аналізують різні типи графіків та правила їх застосування, враховуючи специфіку конкретних випадків використання, а також розглядають перспективні інструменти для візуалізації даних IoT.

У статті [4] представлено архітектуру, яка сприяє інтеграції та оркестрації управління реальними даними IoT, аналітики та автономного контролю в розумних будівлях. Це дослідження підкреслює важливість архітектурного підходу для забезпечення ефективного оброблення та візуалізації даних у масштабованих IoT-системах.

У статті [5] проведено детальний аналіз сучасних підходів до збору даних в IoT-мережах, розглядаючи різноманітність типів даних, джерел, протоколів передачі та архітектур збору інформації.

Робота [6] представляє систему, яка забезпечує безперервне оброблення та 3D-візуалізацію сенсорних даних у веб-інтерфейсі, сприяючи кращому розумінню просторової інформації та підтримці прийняття рішень. У дослідженні [7] запропоновано архітектуру даних, яка сприяє інтеграції гетерогенних джерел для створення єдиного уявлення про стан здоров'я пацієнтів у віддаленому моніторингу, підвищуючи точність та своєчасність медичних втручань. Стаття [8] представляє архітектуру GOVA, яка дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних IoT та вирішувати проблеми масштабованості та продуктивності, забезпечуючи гнучкість та адаптивність системи. У роботі [9] обговорюються виклики та рішення, пов'язані з використанням аналітики великих даних для побудови IoT-рішень, підкреслюючи роль великих даних у вирішенні проблем управління великими обсягами інформації та їх візуалізації.

У статті [10] запропоновано нову архітектуру для прогнозування стану здоров'я в реальному часі, яка використовує великі дані та машинне навчання. Система фокусується на застосуванні розподіленої моделі машинного навчання до поточкових медичних даних, що надходять від різних джерел, для прогнозування стану здоров'я та надсилання сповіщень медичним працівникам.

Дослідження [11] пропонує масштабовану архітектуру для оброблення поточкових темпоральних даних IoT у реальному часі. Автори аналізують продуктивність системи на прикладі зіставлення карт, підкреслюючи важливість ефективного оброблення та візуалізації таких даних для підтримки прийняття рішень.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розроблення архітектури програмної системи, призначеної для відображення мультимодальних темпоральних поточкових даних пристроїв систем IoT.

Виклад основного матеріалу

Програмна система, архітектура якої зображена на рис. 1, є комплексною системою, яка включає три основні компоненти: блок роботи з пристроями IoT, блок угруповання даних та блок відображення точкових темпоральних даних. Ці компоненти взаємодіють між собою для забезпечення коректного оброблення, агрегації та візуалізації великих обсягів поточкових даних, що генеруються пристроями IoT. Кожен з блоків має чітко визначену роль і виконує функції, спрямовані на забезпечення відповідних потреб системи.

Блок роботи з пристроями IoT є основним елементом, відповідальним за збір даних від пристроїв та передачу їх до наступних компонентів системи. У цьому блоці дані отримуються від різноманітних сенсорів, датчиків та інших IoT-пристроїв, що використовуються в конкретному середовищі. Модуль агрегування даних у цьому блоці виконує роль стандартизації даних, перетворюючи їх у формат, який підходить для подальшого оброблення в інших блоках. Він забезпечує належну структуру даних, що дозволяє ефективно передавати їх до блоку угруповання без додаткових витрат часу на конвертацію в блоці угруповання і, також, можливість тримати особливості роботи з пристроями та їх даними у кожному окремому блоці роботи з пристроями, не переносючи різноманітні деталі різних форматів у інші блоки.

Блок угруповання даних відповідає за прийом та оброблення великих обсягів даних від різних пристроїв. Зокрема, він здійснює угруповання даних за темпоральною ознакою, що дозволяє зберігати їх у вигляді, зручному для подальшого аналізу та візуалізації. Для цього можуть використовуватися різні методи, що дозволяють згрупувати дані, що надходять одночасно або близько до одного і того ж моменту часу, у вигляді потоків даних, які містять дані з їх відповідними мітками часу. Після того, як дані були згруповані за

часовими і, можливо, іншими параметрами, вони можуть бути збережені або надіслані для подальшої візуалізації. Модуль агрегування груп даних займається підготовкою цих груп до відправлення.

Блок відображення точкових темпоральних даних відповідає за візуалізацію результатів збору даних, надаючи користувачеві візуалізації даних для їх подальшого аналізу у реальному часі. Перш за все, отриманий модулем прийому потік даних розділяється на окремі групи, що підлягають перетворенню модулем конвертації у формат, придатний для відображення. Це необхідно для узгодження отриманих даних з вимогами щодо відображення конкретної реалізації відображення. Важливим етапом є підготовка даних для візуалізації, зокрема розподілення їх на різні візуалізації модулем процесингу даних, які можуть бути представлені як однорівневі (за одним параметром та міткою часу), так і дворівневі (за двома параметрами та міткою часу). Модуль процесингу даних виконує функцію перетворення та підготовки даних до візуалізації, що дозволяє здійснити правильне відображення всіх вимірів, надаючи при цьому інтерфейс для користувача, у якому можливо вибрати необхідні параметри відображення.

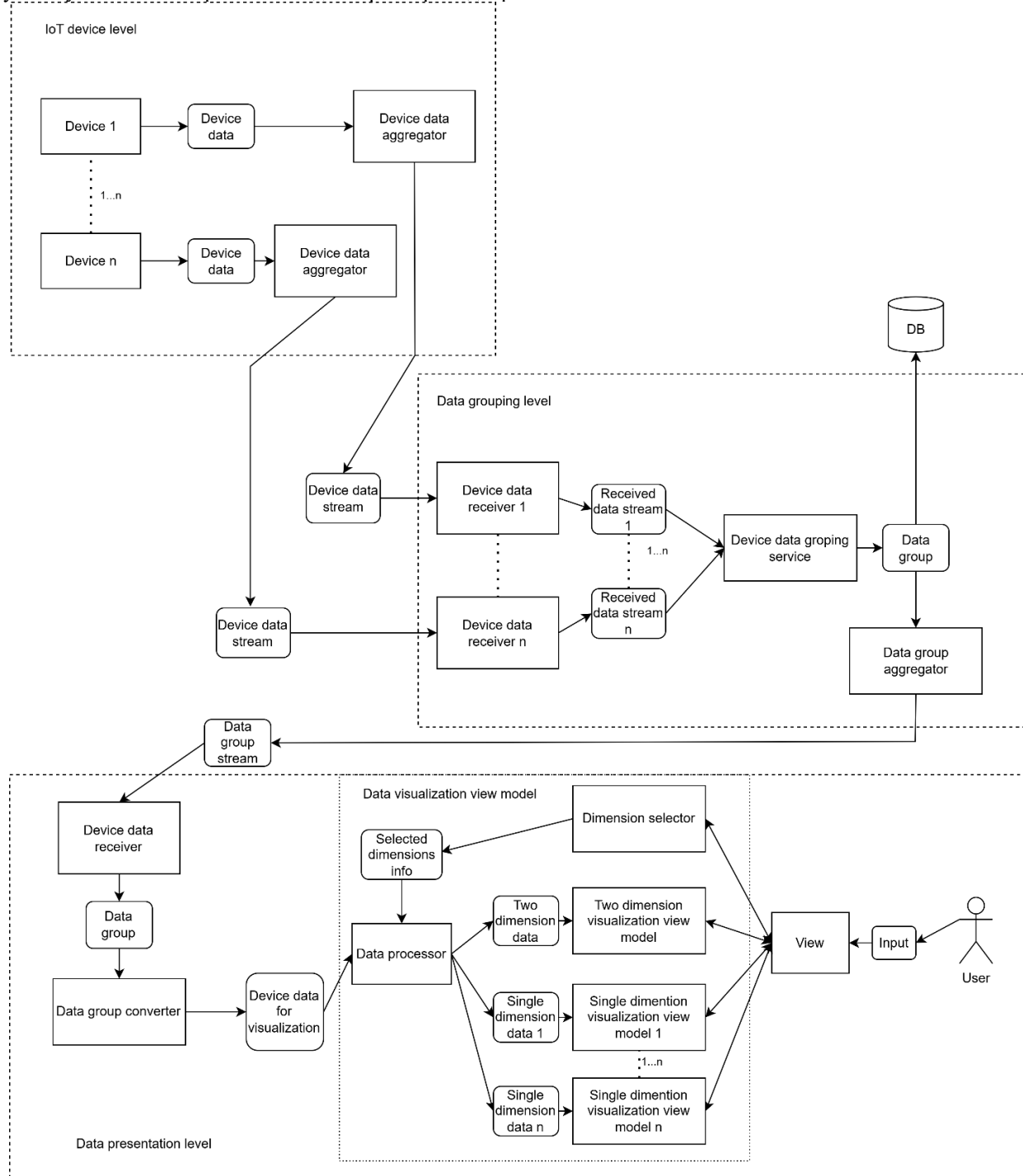


Рис. 1. Високорівнева архітектура системи відображення потокових темпоральних даних мереж пристроїв IoT

Під час роботи системи також враховуються запити користувачів на зміну відображуваних даних, що дає змогу адаптувати візуалізацію під конкретні потреби. Модуль розподілення даних отримує параметри від

користувача для зміни налаштувань відображення, що дає можливість інтерактивно вибирати дані для візуалізації. Це дозволяє користувачу отримати найбільш релевантну інформацію на основі поточного контексту або потреб аналізу.

Розроблена архітектура є гнучкою і може бути адаптована для роботи в обмеженому обсязі. Один із варіантів використання архітектури передбачає лише збір та угруповання даних без подальшого їх відображення. Такий режим може бути використаний для попереднього аналізу або зберігання даних для подальшого оброблення. Іншим варіантом є використання архітектури для відображення поточкових даних без угруповання, що дозволяє відслідковувати інформацію, отриману безпосередньо від пристроїв, без необхідності її попереднього групування. Також таке відображення безпосередніх даних може використовуватися паралельно до роботи з угрупованими даними.

В архітектурі можлива реалізація як децентралізованих, так і централізованих підходів до розміщення її складових, що дозволяє ефективно обирати найбільш підходящий варіант для конкретної інфраструктури чи умов навантаження. У найбільш децентралізованому варіанті компоненти системи можуть бути розміщені на великій відстані одне від одного, що відповідає сценаріям, де пристрої IoT розподілені на великій географічній площі, або в умовах, коли важливо мінімізувати затримки при передачі даних. Наприклад, пристрої IoT можуть перебувати в різних місцях, а дані від них можуть надходити до локальних серверів, що розташовані безпосередньо поруч з пристроями. Після первинного оброблення, ці дані можуть бути передані до блоку угруповання, який розміщений на віддаленому сервері, для подальшої агрегації та підготовки до відправлення. Такий підхід дозволяє значно зменшити навантаження на окремі сервери та підвищити ефективність оброблення даних за рахунок використання специфічних ресурсів у кожній локації.

Модуль угруповання, залежно від обсягу оброблюваних даних, може бути розподілений між кількома серверами. Це дозволяє забезпечити високу продуктивність оброблення в умовах великих потоків даних або обмежень на потужність одного окремого сервера. Таким чином, система стає масштабованою і може адаптуватися до різних вимог, забезпечуючи ефективне використання ресурсів у розподілених середовищах.

У випадку використання централізованого розташування, блоки можуть бути розміщені на одному сервері або навіть одному комп'ютері. У такому випадку реалізація передачі даних між модулями може бути спрощена за рахунок внутрішньої комунікації на одному пристрої. Проте це призводить до певних обмежень, оскільки вся система буде залежати від ресурсів одного ПК. Такі обмеження можуть суттєво ускладнити або навіть унеможливити масштабування системи у майбутньому, оскільки за потреби в додаткових ресурсах система може зіткнутися з обмеженнями при зростанні кількості пристроїв чи обсягів даних.

Запропонована архітектура відзначається високим рівнем модульності та адаптивності, що дозволяє реалізувати її за допомогою різноманітних технологічних підходів. Крім схеми з трьома основними блоками (робота з IoT-пристроями, угруповання даних та їх відображення), існує можливість створення системи на базі розподіленої мікросервісної архітектури, де кожен блок розгортається як самостійний сервіс із власним API для інтеграції з іншими компонентами та може дублюватися у декількох мікросервісах одночасно. Такий підхід спрощує масштабування системи та дозволяє окремо оптимізувати кожен сервіс у міру зростання обсягу даних або кількості пристроїв.

Відсутність єдиного запропонованого варіанту передачі даних також є особливістю запропонованої архітектури. Завдяки високій модульності, архітектура дозволяє різноманітні технологічні реалізації, що дозволяють використовувати різні протоколи та методи передачі даних залежно від конкретних умов експлуатації. Це дозволяє адаптувати інтеграційний шар до особливостей мережевої інфраструктури та типів IoT-пристроїв, забезпечуючи оптимальну швидкість та надійність обміну інформацією. Таким чином, замість зосередження на одному єдиному рішенні, архітектура надає можливість впровадження різноманітних протоколів, таких як MQTT, Apache Kafka, CoAP або HTTP, що сприяє гнучкості, масштабованості та подальшій оптимізації за результатами дослідної експлуатації реалізації архітектури у реальному середовищі використання. Також завдяки цьому можлива інтеграція даної архітектури у системи, в яких вже існує усталений канал передачі даних. Окремо заслуговує розгляду застосування протоколів асинхронної передачі даних, таких як MQTT [12] або Apache Kafka [13], що можуть зробити реалізацію потоків даних в архітектурі досить стандартною відносно інших існуючих проектів, також при цьому забезпечивши швидкодію передачі даних. У даних протоколах дані від різноманітних сенсорів надходять у вигляді подій, які розміщуються у чергах повідомлень, що забезпечує високу продуктивність і знижує затримки під час обміну інформацією між компонентами. У критичних умовах, коли швидкість реакції є вирішальною, така організація дозволяє системі залишатися надійною навіть у розподілених середовищах з великою кількістю IoT-пристроїв. Через це використання даних протоколів може вважатися найбільш доцільним у загальному випадку, оскільки дані протоколи також є галузевим стандартом при використанні в мережах IoT. Цей підхід не лише полегшує оброблення поточкових даних за рахунок наявних реалізацій протоколів для різних систем, але й забезпечує ефективну масштабованість та можливість незалежної оптимізації різних сервісів, що є особливо важливим для сучасних систем, які мають справу з великими обсягами інформації.

Для відображення мультимодальних темпоральних поточкових даних пристроїв IoT пропонується шаблон користувацького інтерфейсу, що зображений на рис. 2. Цей шаблон є одним із варіантів реалізації у блоці відображення даних розробленої архітектури.

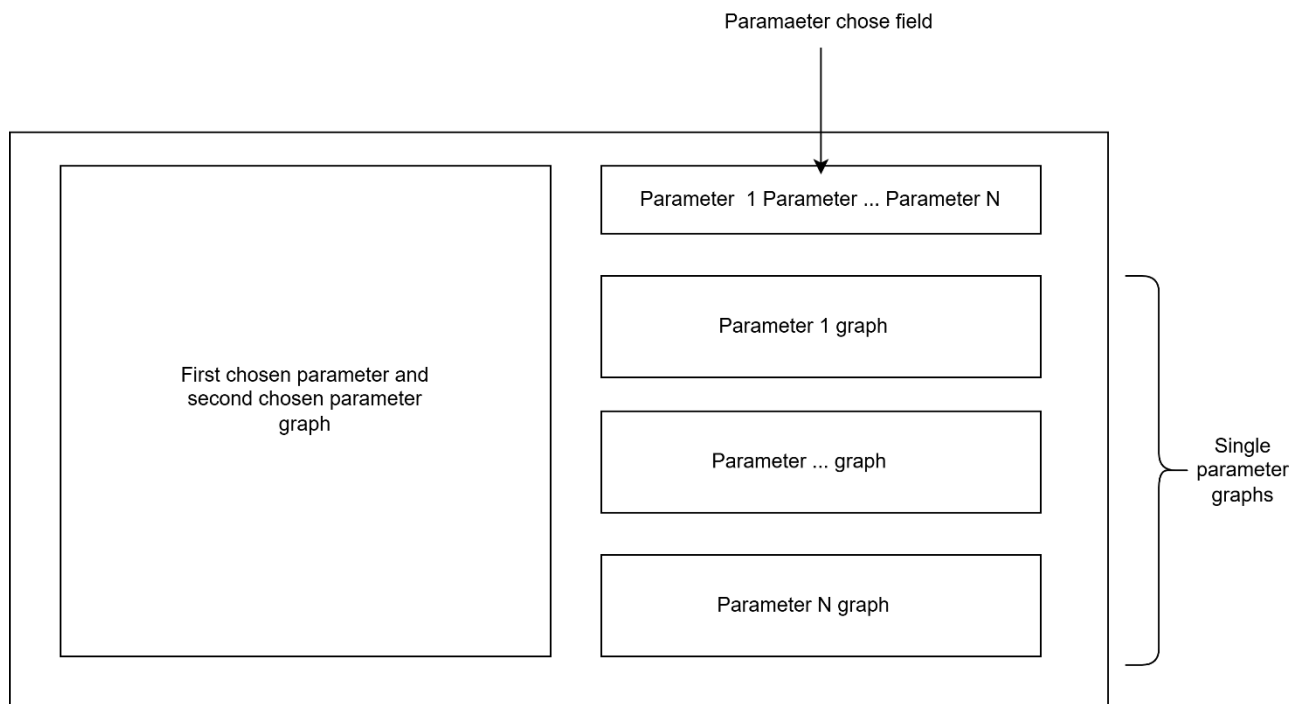


Рис. 2. Шаблон користувацького інтерфейсу для відображення мультимодальних темпоральних поточкових точкових даних пристроїв IoT

Шаблон призначено для спрощення роботи з інформацією, що характеризується наявністю трьох і більше параметрів (окрім темпоральної складової). Основна ідея цього підходу полягає у створенні структурованого представлення даних, які надходять у реальному часі.

У цьому шаблоні визначено кілька ключових компонентів. По-перше, у верхній частині інтерфейсу розміщено поле вибору параметрів, яке надає користувачу можливість обрати, які саме дані необхідно відобразити на графіку. Такий механізм сприяє гнучкому налаштуванню візуалізації відповідно до актуальних потреб аналізу.

По-друге, для кожного з параметрів створюються окремі 2D-графіки. Ці графічні представлення дозволяють окремо відслідковувати тенденції та розподіл кожного параметра, що іноді може бути приховано при спільному відображенні даних.

По-третє, на 3D-графіку, на якому одна з осей завжди назначена для часової складової, а дві інші осі – значенням для двох обраних користувачем параметрів, відображаються згруповані дані. Такий підхід забезпечує комплексне відображення динаміки даних у часі, дозволяючи аналізувати взаємозв'язки між ключовими показниками.

Крім того, система передбачає механізм часової фільтрації, завдяки якому на графіках відображаються лише ті дані, що належать до заданого проміжку часу – від поточного моменту до встановленої конфігурацією межі у минулому. Дані поза цим діапазоном автоматично відфільтровуються.

Також можлива додатковий елемент шаблону – окремий графік часової шкали, що дозволяє обрати старіші діапазони відображуваних даних у разі необхідності перегляду історичних, попередньо записаних тим чи іншим способом даних.

У порівнянні з традиційними шаблонами, такими як Scatter Plot Matrix (SPLOM), де дані відображаються через матрицю 2D-діаграм для кожної пари параметрів [14], запропонований підхід дозволяє інтегрувати потоки даних у 3D-просторі із явним врахуванням часової осі. Це надає новий інструмент аналізу мультимодальних даних, оскільки дозволяє користувачу одночасно спостерігати як взаємозв'язки між окремими обраними параметрами, так і їх зміну у часовому вимірі. Крім того, існують підходи, орієнтовані на концепцію Focus+Context, згідно з якою центральна, детально представлена область доповнюється загальним оглядом. Проте інтеграція окремих 2D-графіків із 3D-візуалізацією, де одна з осей однозначно відводиться для відображення часової складової, забезпечує створення більш гнучкого інтерфейсу. Такий підхід не лише відображає загальну картину даних, але й дозволяє проводити детальний аналіз обраних параметрів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У статті представлено високорівневу архітектуру системи для відображення поточкових темпоральних мультимодальних даних, що генеруються пристроями IoT. Запропоноване рішення враховує необхідність ефективного збору, угруповання, оброблення та візуалізації даних у режимі реального часу. Гнучкість архітектури дозволяє реалізувати її як у централізованому, так і децентралізованому вигляді, що дає змогу адаптувати систему до різних сценаріїв використання. Також розроблений шаблон користувацького

інтерфейсу візуалізації мультимодальних темпоральних поточкових точкових даних забезпечує представлення інформації, що містить три й більше параметрів, окрім темпорального. Інтеграція 3D-графіка з часовою віссю, що відповідає за відображення часової складової, поряд із набором окремих 2D-графіків для окремих параметрів дозволяє одночасно аналізувати як структурні взаємозв'язки між вимірами, так і їх зміну в часі.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів угрупування даних, розширення підтримуваних форматів мультимодальних даних та оптимізацію продуктивності системи у розподілених середовищах, а також розширення блоку роботи з пристроями, додавши до нього можливість стискання відправлених даних за допомогою кластеризації, якщо вона може бути застосована для даних конкретного пристрою.

Література

1. Il-Agure Z., Dempere J. Review of data visualization techniques in IoT data //2022 8th International Conference on Information Technology Trends (ITT). – IEEE, 2022. – С. 167-171.
2. Marjani M. et al. Big IoT data analytics: architecture, opportunities, and open research challenges //ieec access. – 2017. – Т. 5. – С. 5247-5261..
3. Protopsaltis A. et al. Data visualization in internet of things: tools, methodologies, and challenges //Proceedings of the 15th international conference on availability, reliability and security. – 2020. – С. 1-11.
4. Bashir M. R., Gill A. Q., Beydoun G. A reference architecture for iot-enabled smart buildings //SN computer science. – 2022. – Т. 3. – №. 6. – С. 493.
5. Abba Ari A. A. et al. Data collection in IoT networks: Architecture, solutions, protocols and challenges //IET Wireless Sensor Systems. – 2024.
6. Hamza-Lup F. G., Iacob I. E., Khan S. Web-enabled intelligent system for continuous sensor data processing and visualization //Proceedings of the 24th International Conference on 3D Web Technology. – 2019. – С. 1-7.
7. Buleje I. et al. A Versatile Data Fabric for Advanced IoT-Based Remote Health Monitoring //2023 IEEE International Conference on Digital Health (ICDH). – IEEE, 2023. – С. 88-90.
8. Dang-Ha T. H., Roverso D., Olsson R. Graph of virtual actors (gova): A big data analytics architecture for IoT //2017 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp). – IEEE, 2017. – С. 162-169.
9. IoT Analytics: Using Big Data to Architect IoT Solutions URL: <https://wso2.com/whitepapers/iot-analytics-using-big-data-to-architect-iot-solutions/> (дата звернення: 14.02.2025).
10. Ed-daoudy A., Maalmi K. A new Internet of Things architecture for real-time prediction of various diseases using machine learning on big data environment //Journal of Big Data. – 2019. – Т. 6. – №. 1. – С. 104.
11. Laska M. et al. A scalable architecture for real-time stream processing of spatiotemporal IoT stream data—Performance analysis on the example of map matching //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2018. – Т. 7. – №. 7. – С. 238.
12. MQTT. URL: <https://mqtt.org/> (дата звернення: 14.02.2025).
13. Apache Kafka. URL: <https://kafka.apache.org/> (дата звернення: 14.02.2025).
14. What is a SPLOM chart? URL: <https://medium.com/plotly/what-is-a-splom-chart-make-scatterplot-matrices-in-python-8dc4998921c3> (дата звернення: 14.02.2025).

References

1. Il-Agure Z., Dempere J. Review of data visualization techniques in IoT data //2022 8th International Conference on Information Technology Trends (ITT). – IEEE, 2022. – С. 167-171.
2. Marjani M. et al. Big IoT data analytics: architecture, opportunities, and open research challenges //ieec access. – 2017. – Т. 5. – С. 5247-5261.
3. Protopsaltis A. et al. Data visualization in internet of things: tools, methodologies, and challenges //Proceedings of the 15th international conference on availability, reliability and security. – 2020. – С. 1-11.
4. Bashir M. R., Gill A. Q., Beydoun G. A reference architecture for iot-enabled smart buildings //SN computer science. – 2022. – Т. 3. – №. 6. – С. 493.
5. Abba Ari A. A. et al. Data collection in IoT networks: Architecture, solutions, protocols and challenges //IET Wireless Sensor Systems. – 2024.
6. Hamza-Lup F. G., Iacob I. E., Khan S. Web-enabled intelligent system for continuous sensor data processing and visualization //Proceedings of the 24th International Conference on 3D Web Technology. – 2019. – С. 1-7.
7. Buleje I. et al. A Versatile Data Fabric for Advanced IoT-Based Remote Health Monitoring //2023 IEEE International Conference on Digital Health (ICDH). – IEEE, 2023. – С. 88-90.
8. Dang-Ha T. H., Roverso D., Olsson R. Graph of virtual actors (gova): A big data analytics architecture for IoT //2017 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp). – IEEE, 2017. – С. 162-169.
9. IoT Analytics: Using Big Data to Architect IoT Solutions URL: <https://wso2.com/whitepapers/iot-analytics-using-big-data-to-architect-iot-solutions/> (access date: 14.02.2025).
10. Ed-daoudy A., Maalmi K. A new Internet of Things architecture for real-time prediction of various diseases using machine learning on big data environment //Journal of Big Data. – 2019. – Т. 6. – №. 1. – С. 104.
11. Laska M. et al. A scalable architecture for real-time stream processing of spatiotemporal IoT stream data—Performance analysis on the example of map matching //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2018. – Т. 7. – №. 7. – С. 238.
12. MQTT URL: <https://mqtt.org/> (access date: 14.02.2025).
13. Apache Kafka. URL: <https://kafka.apache.org/> (access date: 14.02.2025).
14. What is a SPLOM chart? URL: <https://medium.com/plotly/what-is-a-splom-chart-make-scatterplot-matrices-in-python-8dc4998921c3> (access date: 14.02.2025).