

УДК 004.77:004.896

DOI: 10.31673/2412-9070.2023.013841

В. О. ХОМЕНЧУК, аспірант,
Національний авіаційний університет, Київ

ВИКОРИСТАННЯ БАЗ ДАНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ В АРХІТЕКТУРІ ГРАНИЧНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Величезна кількість даних постійно надходить із чималої кількості сенсорів та систем моніторингу. Через швидкий розвиток технологій IoT останніми роками з'являється все більше систем IoT, які генерують велику кількість запитів для забезпечення роботи «розумних будинків», «розумних міст», «розумних ферм», «розумного сільського господарства», «розумної фабрики», «розумного виробництва», «розумної промисловості», автопілотів та безлічі інших. Для зменшення кількості запитів до основної хмари у статті описано рішення розподілу навантаження на вузли граничних обчислень (edge computing), що також зменшить затримку відправлення та оброблення. Також розглянуто особливості роботи баз даних часових рядів для використання їх в інфраструктурі IoT Edge Cloud.

Ключові слова: IoT; Edge Cloud; TSDB; граничні обчислення; бази даних часових рядів; децентралізація обчислень.

Вступ

Одним із головних використань систем IoT є моніторинг і виявлення та діагностика несправностей (MFDD). Давачі під'єднуються до плат із можливістю мережного під'єднання, зокрема AVR, STM, ESP32, Raspberry Pi, SIM7000E тощо, і розміщуються в системах для моніторингу поведінки систем та передавання моніторингових даних через безпроводові мережі. Багато промислових компаній та урядових організацій використовують IoT для MFDD своїх критичних систем. Наприклад, виробники налаштовують системи IoT для моніторингу машин та операцій на лініях виробництва з метою раннього виявлення проблем та зменшення ризику несправностей для забезпечення надійної та безпечної роботи систем. Моніторинг на основі IoT також може допомогти зменшити ймовірність виробництва дефектних продуктів та поліпшити їхню якість. Критичні національні інфраструктури, такі як електромережі, системи водопостачання та водовідведення тощо, також використовують IoT для моніторингу стану систем із метою раннього виявлення несправностей та розроблення своєчасних планів протидії.

Основна частина

Системи на основі IoT зазвичай потребують великої кількості даних, обсяг яких збирається з безлічі давачів з постійним потоком цих даних. Отже, зберігання даних та їх аналіз — це головні проблеми, які потрібно вирішувати. Останніми роками широко використовують аналіз великих даних, зібраних із систем IoT, з метою поліпшення виявлення та діагностики несправностей. Через інтенсивну природу оброблення великих даних аналіз зазвичай потрібно здійснювати в хмарі. Однак спрямування даних до хмари може мати значну затримку комунікації. Крім того, багато із завдань виявлення та діагностики несправностей мають виконуватися в режимі реального

часу. У відповідь на таке балансування між часом та обмеженнями ресурсів було розроблено нову обчислювальну інфраструктуру, яка поєднує IoT, Edge та Cloud. Попередні обчислення, потрібні для своєчасних рішень, можуть бути виконані на близьких Edge-шлюзах та локальних мережах. Інтегрований аналіз може бути залишений у хмарі, а більш складні і/або точніші результати аналізу можуть бути направлені назад до Edge-пристроїв та IoT-пристроїв для покращення процесу прийняття рішень або підтримання змінних тенденцій.

Дані часових рядів — це послідовність точок даних, зібраних за проміжки часу, що дає нам змогу відстежувати зміни з часом, протягом мілісекунд, днів або навіть років. Доступ до детальних, багатofункціональних часових рядів даних став одним із найцінніших товарів у нашому світі. Підприємства, уряди, школи та громади, великі й малі, відшукують способи отримання цінності від аналізу даних часових рядів. Моделі використання розробниками програмного забезпечення вже відображають ту саму тенденцію. Насправді, протягом останніх двох років бази даних часових рядів (TSDB, або СКБД часових рядів — системи керування базами даних) стабільно залишаються категорією баз даних, що розвивається найшвидше.

Звичайні бази даних показують низьку ефективність роботи з часовими рядами. TSDB має спеціалізовані алгоритми роботи з часовими рядами, й існують принаймні дві причини, чому бази даних часових рядів є категорією баз даних, яка сьогодні найшвидше зростає: масштаб та зручність використання.

Масштаб. Дані часових рядів нагромаджуються дуже швидко, а звичайні бази даних не призначені для роботи з таким масштабом. Традиційно, реляційні бази даних дають не дуже добрі результати під час роботи з надзвичайно великими наборами даних, тоді як NoSQL-бази даних більш прий-

© В. О. Хоменчук, 2023

нятні для масштабування. Водночас бази даних часових рядів, незалежно від того, чи вони реляційні, чи NoSQL, використовують ефективність, якої можна досягти лише тоді, коли час розглядається як пріоритетний показник, що дасть змогу надавати нові можливості, починаючи від поліпшення продуктивності.

Зручність використання. Бази даних часових рядів також зазвичай містять вбудовані функції та операції, що є типовими для аналізу даних часових рядів, зокрема політики збереження даних, постійні запити на агрегацію, гнучку категоризацію за часом тощо. Навіть якщо ви тільки починаєте збирати цей тип даних і масштаб наразі не є проблемою, ці функції все ще можуть забезпечити кращий досвід користувача та спростити задачі аналізу даних. Мати вбудовані функції та можливості для аналізу тенденцій, які легко доступні на рівні даних, часто дає змогу виявляти можливості, про існування яких ви навіть не здогадувалися, що вони існують, незалежно від того, наскільки великий чи малий ваш набір даних.

Отже, розробники все більше віддають перевагу застосуванню баз даних часових рядів та використовують їх для різноманітних випадків:

- моніторингу програмних систем: віртуальні машини, контейнери, сервіси, застосунки;
- моніторингу фізичних систем: обладнання, машини, підімкнені пристрої, навколишнє середовище, наші домівки, наші тіла;
- застосункам для відстеження майна: транспортні засоби, вантажівки, фізичні контейнери, піддони;
- системам фінансової торгівлі: класичні цінні папери, нові криптовалюти;
- застосункам, які відслідковують дані взаємодії з користувачем/клієнтом;
- інструментам бізнес-аналітики: відстеження ключових показників та загального стану бізнесу та багато іншого.

Останніми роками було розроблено чимало баз даних часових рядів (TSDB), щоб керувати зберіганням постійних потоків даних. Проте через новизну досліджень TSDB є ще місце для покращення їх конструкції.

Перша проблема полягає в тому, як ефективно зменшити розмір старих даних, щоб одночасно і зберегти простір зберігання, і не втратити корисну інформацію в історичних даних. Хоча всі TSDB надають підтримання дискретизації з отриманням ефективних функцій дискретизації.

Друга проблема в наявних базах даних часових рядів полягає в тому, що вони не мають семантичного підтримання. Більшість таких баз даних призначено для підтримання окремої системи із збереженням продуктивності зберігання даних, але вони не мають підтримання семантики даних. Тому дані в базі даних можуть інтерпретуватися

тільки тими, хто проектує схему бази даних. Це призводить до значних недоліків у ефективному пошуку та обробленні даних. Наприклад, багато сучасних кіберфізичних систем є високо складними. Коли система моніторингу на основі Інтернету речей використовується для виявлення несправностей у складній системі, поточні бази даних часових рядів не можуть зафіксувати зв'язки між потоками даних, що ускладнює аналіз потенційних зв'язків між потоками даних. Інтегрований аналіз даних, тобто аналіз потоків даних із подібних систем, може допомогти поліпшити точність аналізів. Без належної семантики даних буде дуже складно посилається на подібні потоки даних та досягати інтегрованого аналізу. Проблема зберігання даних стає більш серйозною, коли ми розглядаємо інфраструктуру IoT-Edge-Cloud. Потік даних може бути переміщений та оброблений у величезній інфраструктурі, що робить складним визначення місцезнаходження даних та ускладнює їх відновлення.

Третя проблема із сучасними системами зберігання часових рядів даних полягає в тому, що вони не моделюють події. Усі TSDB надають дуже хороше підтримання для зберігання потоків даних, які збираються з відносно сталою швидкістю, тобто дані надходять через певний інтервал часу. Водночас дані подій (тригерів), надходять до системи випадковим чином. Зберігання потоків даних та підтримання ефективного пошуку для потоків даних на основі подій є критичним так само, як для потоків даних із відносно фіксованими інтервалами збору.

У системі моніторингу на основі Інтернету речей нам потрібно позначити потоки даних моніторингу за кількома важливими атрибутами, включно з тим, який давач створив потік даних моніторингу, яку метрику та яку цільову сутність моніторить давач, яке є співвідношення цільової сутності з цільовою системою, яка одиниця вимірювання використовується для потоку даних тощо. Багато з цих атрибутів не моделюються наявними базами даних часових рядів через складність їх специфікації. Наприклад, щоб визначити, яка сутність у цільовій системі моніториться, нам потрібно мати можливість зазначити архітектуру системи та скласти модель для специфікації сутностей системи. Нам також потрібно вказати давачі та їх відношення до сутностей у цільовій системі. Для зазначення метрики, яка моніториться, нам потрібно правильно визначити метрику та її відношення до інших метрик. Інакше кажучи, нам потрібно визначити онтологію метрики, щоб кожному метрику, на яку посилається система моніторингу, можна було належним чином розуміти.

Онтологія системи визначає ієрархію сутностей у системах домену застосування, включно з

сенсорами та сутностями, що моніторяться. За допомогою онтології системи ми можемо визначити архітектуру системи, яка правильно описує цільову систему, та використовувати її для визначення, який сенсор моніторить яку сутність у системі та кореляцій між сутностями в цільовій системі. Онтологія метрики визначає різні метрики, які можуть використовуватися в домені застосування та їх взаємозв'язки. Онтологія одиниць вимірювання визначає одиниці, які можуть використовуватися для різних метричних показників у домені застосування та їх взаємозв'язки. Отже, потоки даних можуть бути визначені, зв'язавши їх з конкретними метриками, конкретними сутностями та конкретними одиницями вимірювання.

TSDB в інфраструктурі IoT-Edge-Cloud. IoT-пристрої розгортаються зі зростаючою швидкістю й оцінюється, що є десятки мільярдів фізичних об'єктів, підімкнених до інтернету, і ця кількість продовжує швидко нарощуватися. Багато з цих IoT-пристроїв — це давачі, які генерують великий обсяг даних. Загалом, IoT-пристрої мають обмежену обчислювальну потужність та місце зберігання, а отже, не підходять для постійного зберігання та оброблення даних, які вони самі генерують. Хмара надає величезні обчислювальні та зберігальні можливості, котрі можна використовувати для оброблення та зберігання даних IoT. Однак багато IoT-систем збирають дані для ухвалення рішень у реальному часі, а затримки зв'язку для передавання даних до централізованих хмарних дата-центрів можуть бути завеликими. Для розв'язання цих компромісів було запропоновано рішення для розподіленого та туманного обчислення. Крайові вузли зазвичай слугують шлюзом для IoT-пристроїв та можуть виконувати певні попередні обчислення. Інфраструктуру IoT-Edge-Cloud унаочнює рисунок.

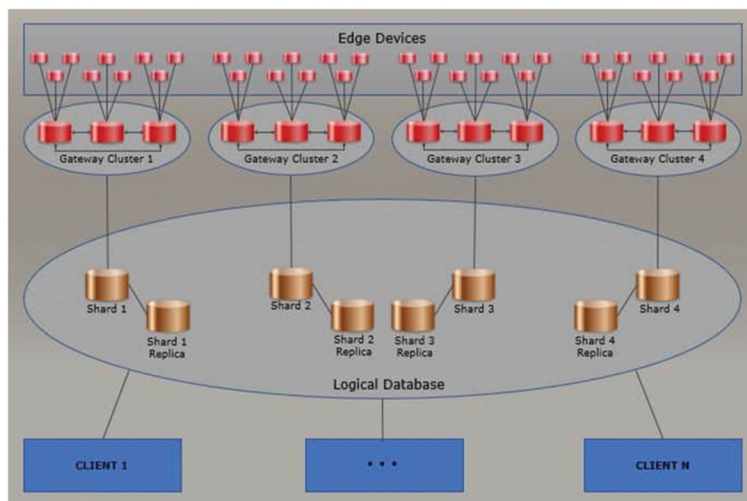
Інфраструктура IoT-Edge-Cloud становить велику масштабовану розподілену платформу для обро-

блення та зберігання даних IoT. Для забезпечення балансу між своєчасністю та потужностями зберігання пристрої IoT мають змогу зберігати тимчасові дані в граничних вузлах, які потрібні для швидкого ухвалення рішень, а хмара — постійні дані. Потоки даних від пристроїв IoT можуть спрямовуватися до граничних вузлів для попереднього оброблення. Оригінальні або оброблені дані можуть далі перетікати до хмари для інтегрованого оброблення та можливого зберігання. У такій інфраструктурі для зберігання даних можуть використовуватись TSDB. Кожен граничний вузол може запускати TSDB-екземпляр для одного вузла та керувати даними як рівноправний партнер.

Основна проблема з розподіленим сховищем в інфраструктурі полягає в тому, як керувати запитами для здобуття необхідних даних. Щоб полегшити інфраструктурне виявлення, чи то виявлення конкретного потоку даних або даних часового ряду, нам потрібно скласти структуровану інформацію для керування маршрутизацією запитів. Якщо явно не прописати джерело отримання даних, потрібен окремий агент, який виконуватиме функцію пошуку даних та здійснювати обчислювальні операції, передбачені функціоналом баз даних часових рядів.

ВИСНОВКИ

З розвитком Інтернету речей з'являється все більше і більше підімкнених до інтернету пристроїв, що генерують великі обсяги даних. Хоча хмарні технології забезпечують велику обчислювальну та зберігальну потужність, вони не завжди прийнятні для оброблення та зберігання даних IoT, особливо для рішень, які потрібно ухвалювати в реальному часі. Тому було запропоновано інші вирішення для розподіленого обчислення з використанням граничних вузлів, які можуть виконувати певні попередні обчислення та забезпечувати баланс між своєчасністю та потужностями зберігання.



Архітектура розподіленої хмари з вузлами граничних обчислень

Інфраструктура IoT-Edge-Cloud є великою масштабною розподіленою платформою для оброблення та зберігання даних IoT. Для керування запитами на отримання необхідних даних потрібна структурована інформація для керування маршрутизацією запитів, щоб полегшити інфраструктурне виявлення. У такій інфраструктурі кожен граничний вузол може запускати TSDB-екземпляр для одного вузла та керувати даними як рівноправний партнер.

Список використаної літератури

1. Кулкарні А., Буз Р., Том А. *What Is Time-Series Data?* [Електронний ресурс]. URL: <https://www.timescale.com/blog/time-series-data/>.
2. Пеппі Л. *IoT and Edge Computing for Architects*. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2020. 632 с.

V. O. Khomenchuk

USING TIME SERIES DATABASES IN EDGE COMPUTING ARCHITECTURE

A vast amount of data is constantly being generated from a large number of sensors and monitoring systems. With the rapid development of IoT technologies in recent years, there are increasingly more IoT systems that generate a large number of queries to support the operation of smart homes, smart cities, smart farms, smart agriculture, smart factories, smart manufacturing, smart industry, autopilots, and many others. In order to reduce the number of queries to the main cloud, this article describes load balancing solutions for edge computing nodes, which will also reduce the delay in sending and processing. The article also describes the features of time series databases for their use in the IoT Edge Cloud infrastructure.

IoT-based systems typically require a large amount of data. A large volume of data is collected from numerous sensors, and the streams of this data are constant. Therefore, storing and analyzing data are the main challenges that need to be addressed. In recent years, big data analytics have been widely used to analyze data collected from IoT systems to improve fault detection and diagnosis. Due to the intensive nature of processing big data, analysis is usually done in the cloud. However, sending data to the cloud can result in significant communication delays. Additionally, many fault detection and diagnosis tasks need to be performed in real-time. In response to this balancing of time and resource constraints, a new computing infrastructure has been developed that combines IoT, Edge, and Cloud. Pre-computations necessary for timely decision-making can be done on nearby Edge gateways and local networks. Integrated analytics can be left in the cloud, while more complex and/or accurate analysis results can be sent back to Edge devices and IoT devices to improve decision-making processes or support changing trends.

Keywords: IoT; Edge Cloud; TSDB; edge computing; time series databases; decentralization of calculations.

