



ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ІОТ

М. Климаш, О. Гордійчук-Бублівська, І. Чайковський, О. Костів

Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

Відповідальний за рукопис: О. Гордійчук-Бублівська (e-mail: olena.v.hordiichuk-bublivska@lpnu.ua)

(Подано 29 травня 2022)

Проаналізовано основні особливості роботи систем промислового Інтернету речей. Визначено необхідність використання розподіленої архітектури та хмарних ресурсів для гнучкого організування роботи промислових систем. Досліджено роботу реляційних баз даних та визначено їх перевагу над нереляційними, зокрема, швидкість оброблення великих обсягів інформації та надійність обслуговування користувацьких запитів. Запропоновано використання розподіленої архітектури баз даних для підвищення ефективності обчислень. Визначено переваги залучення хмарних та розподілених технологій у системи ІоТ, а також можливість вибирати найоптимальніші параметри залежно від вимог до роботи промислового виробництва.

Ключові слова: бази даних; SQL; розподілені обчислення.

УДК: 621.391

1. Вступ

Зростання обсягів виробництва призводить до необхідності постійно вдосконалювати промислові системи. Завдяки методам оброблення та аналізу даних можна значно швидше виконувати високотехнологічні обчислення великих обсягів інформації. Потреба формулювання концепції розумного виробництва зумовило виникнення Industry 4.0, яка визначає основні поняття і принципи роботи сучасних промислових систем. Для досягнення максимальної ефективності виробництва необхідні кінцеві розумні датчики і лічильники, які будуть використовуватися для збирання даних із навколишнього середовища та передавання їх на подальшу обробку керуючим пристроям. Завдяки такому підходу можна постійно моніторити різні параметри роботи промислової системи та оперативно реагувати на відхилення певних показників від норми. Промисловий Інтернет речей (Industrial Internet of Things, ІоТ) сьогодні найкраще відповідає вимогам до розумних промислових систем. Поєднання програмних та апаратних засобів дає змогу автоматизувати виробничі процеси та керувати системою з мінімальним втручанням людини. Подання роботи промислових систем у вигляді послідовності алгоритмів істотно спрощує комунікацію між виробником та споживачами.

Автоматичне і своєчасне визначення несправностей та помилок допомагає запобігати серйозним аварійним ситуаціям. Моніторинг навантаження у системах ІоТ сприяє раціональному розподілу обчислювальних ресурсів. У разі збільшення обсягів даних можливе залучення додаткових ресурсів. Якщо навантаження зменшується, відбувається передавання ресурсів іншим

системам. Хмарні технології дають змогу швидко залучати додаткові обчислювальні потужності та використовувати їх ефективно. Зміна традиційного вигляду промислового виробництва відкриває нові можливості для забезпечення користувачів товарами і послугами та для збільшення ефективності роботи промисловості. Для модернізації виробництва необхідно залучати новітні методи і технології, що замінюють застарілі та неефективні підходи [1, 2].

2. Аналіз та постановка задачі

Особливість роботи промислового Інтернету речей полягає у використанні великої кількості розумних кінцевих пристроїв, які виконують функції збирання та оброблення даних. На основі отриманої інформації можна постійно контролювати ситуацію у різних частинах системи. Дані з різних датчиків використовують для формування загальної моделі поведінки промислового виробництва. Обмін досвідом допомагає швидше та ефективніше усувати збої в роботі обладнання, аварії тощо та запобігати їм. Перевагами IIoT є:

- автоматизоване управління;
- гнучка архітектура;
- підвищення ефективності виробництва;
- розширення переліку послуг, що надає система.

Втім, розумні промислові системи також мають певні недоліки:

- загрози конфіденційності та надійності даних від кінцевих пристроїв. Оскільки під час роботи виконуються обчислення над інформацією, яку збирають від різних користувачів, слід додатково убезпечити її від втрати чи пошкодження;

- додаткові витрати на проектування та експлуатацію.

Архітектуру системи промислового Інтернету речей зображено на рис. 1.

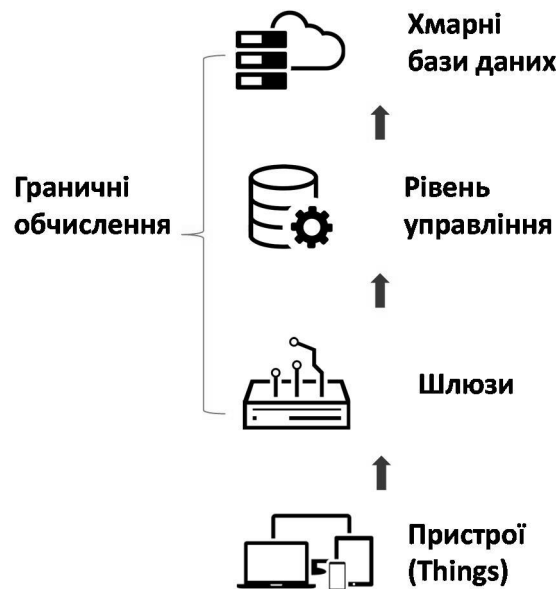


Рис. 1. Архітектура промислового Інтернету речей

Як бачимо з рис. 1, архітектура IIoT складається із декількох рівнів. Датчики і лічильники виконують функції безпосереднього збирання даних про різні етапи виробництва. Інформація надсилається для подальшої обробки через шлюзи до керуючих пристроїв, які аналізують її та приймають рішення про управління ресурсами. Також у системах промислового Інтернету речей

використовують хмарні ресурси, які забезпечують гнучкість за конфігурацією та оптимізоване зберігання даних. Така багаторівнева архітектура промислової системи дає змогу розподіляти функції та повноваження між різними компонентами системи [3, 4]. Для вирішення локальних проблем часто достатньо рішення кінцевих чи прикордонних пристроїв. Втім, для ефективнішого управління системою загалом використовують центральні обчислювальні пристрої. Для зручного розташування даних та можливості одночасного доступу до них декількох користувачів залучають хмарні бази даних і сервери. Розподілена архітектура IoT передбачає комунікацію між різними кінцевими пристроями та можливість виконання багатьох функцій малопотужними кінцевими пристроями [5].

3. Особливості розподіленої архітектури промислових систем

Для того, щоб системи промислового виробництва працювали надійно й ефективно, слід розглядати їх як сукупність множини різного типу та призначення пристроїв, що розміщені на певній віддалі один від одного та взаємодіють між собою. Такі системи можна зарахувати до розподілених. В розподілених системах великі завдання виконують спільно кілька обчислювальних пристроїв. Завдяки використанню протоколів синхронізації та комунікації визначаються ролі кожного вузла в мережі. Зміна параметрів одного із пристроїв може вплинути на функціонування інших та системи загалом. Основні переваги розподілених інфокомунікаційних систем такі:

- гнучкість управління;
- масштабованість;
- розширення функціональності кінцевих пристроїв;
- зменшення навантаження на окремі вузли;
- надійність і відмовостійкість.

Переваги розподілених обчислень очевидні в умовах постійного збільшення навантаження на інформаційні системи. Навіть найпотужніший пристрій не може виконувати швидко такі складні та громіздкі обчислення даних, які необхідні тепер. Також важливою умовою є своєчасність отримання результатів. Для систем, які здійснюють постійний моніторинг стану виробництва, потрібно швидко збирати найважливіші показники, аналізувати та виправляти можливі несправності. Тому повинні використовуватися спеціальні алгоритми оброблення великих даних. До складнощів використання розподілених систем можна зарахувати:

- складність проєктування та конфігурації;
- загрози конфіденційності через використання великої кількості кінцевих пристроїв, що беруть участь у роботі системи;
- важливість постійної синхронізації під час оброблення даних;
- розподіл ресурсів для оброблення і зберігання даних.

Розподіл потужностей, що використовуються у великомасштабних системах для оброблення інформації, є однією з важливих проблем. Завдяки тому, що часто навантаження часто змінюється, може виникнути ситуація, коли наявна кількість ресурсів неспроможна вирішити певні завдання. В такому разі необхідно негайно залучати нові виробничі та обчислювальні потужності. Натомість у випадку зменшення навантаження значна частина ресурсів може простоювати, що економічно недоцільно [6, 7].

Хмарні ресурси в системах промислового Інтернету речей допомагають залучати необхідні обчислювальні потужності швидко та ефективно. В разі зміни навантаження та потреби використання більшої кількості ресурсів можна переконафігурувати виробничу систему автоматично і навіть без втручання персоналу, тільки на основі аналізу даних із пристроїв IoT. Якщо виявлено надлишковість виробничих потужностей, їх можна звільнити і передати в користування іншим системам. Особливо такий підхід зручний у разі динамічної зміни навантаження, яке неможливо ефективно контролювати вручну. Щоразу, коли показники завантаження системи змінюються,

приймається рішення про переконфігурацію та оптимізацію. Також використання хмарних ресурсів дає змогу організувати спільний доступ до даних. Якщо декільком користувачам різних систем необхідно одночасно використати певну інформацію, розподілені хмарні бази даних можуть обслуговувати їх одночасно. Це можливо завдяки тому, що дані часто містяться на декількох пристроях. Інформація може надаватися невеликими частинами, і поки один користувач зчитує перші рядки з однієї бази даних, інший одночасно отримує наступні рядки з іншої [8, 9].

Отже, спільне використання апаратних та програмних засобів допомагає гнучко та ефективніше організувати роботу сучасних розумних підприємств. Завдяки віртуалізації ресурсів функції контролю та управління системою можуть реалізуватися віддалено. Спрощується обмін досвідом між різними промисловими системами, що сприяє кращому вирішенню типових проблем. Завдяки залученню хмарних технологій також підвищується надійність зберігання та оброблення даних, оскільки вони обробляються частинами на різних пристроях та часто реплікуються. Схему архітектури систем промислового Інтернету речей із використанням хмарних ресурсів зображено на рис. 2.



Рис. 2. Схема архітектури систем промислового Інтернету речей із використанням хмарних ресурсів

Програмні додатки, що використовують у системі, повинні взаємодіяти із різними елементами розподіленої системи. Синхронізація та координація між кінцевими і керуючими пристроями дає змогу працювати одночасно з тими самими завданнями та даними [10–12].

4. Дослідження та моделювання опрацювання інформації у розподілених базах даних

Хмарна база даних працює на основі хмарних ресурсів та дає змогу зберігати інформацію віддалено від системи і доступатися до неї різним користувачам одночасно. Для роботи хмарної бази даних може використовуватися запуск спеціальної віртуальної машини, яку користувач використовує для власних потреб. Також власники хмарних ресурсів можуть віддавати їх в оренду на певний час. Отже, база даних пропонується користувачеві як сервіс. Альтернативою наведеним

вище підходам є можливість розміщення хмарних ресурсів на хостингу власника. Ці ресурси користувачі можуть використовувати для виконання власних завдань, проте керує хостингом власник. Бази даних можуть бути реляційними, тобто такими, які зберігають інформацію у вигляді спеціальних впорядкованих електронних таблиць, та нереляційними. Зазвичай використовують реляційні бази даних, оскільки в них інформація не повторюється, зберігається у визначених місцях та її легко знайти за допомогою спеціальних ключів [13–15].

У роботі досліджено програмну модель оброблення запитів користувачів із використанням звичайного неструктурованого запису та реляційних баз даних. Для моделювання використано мову програмування Python. Результати дослідження залежності тривалостей обчислень користувачських запитів реляційною та нереляційною базами даних зображено на рис. 3. Також досліджено оброблення даних на чотирьох та восьми віртуальних розподілених вузлах.

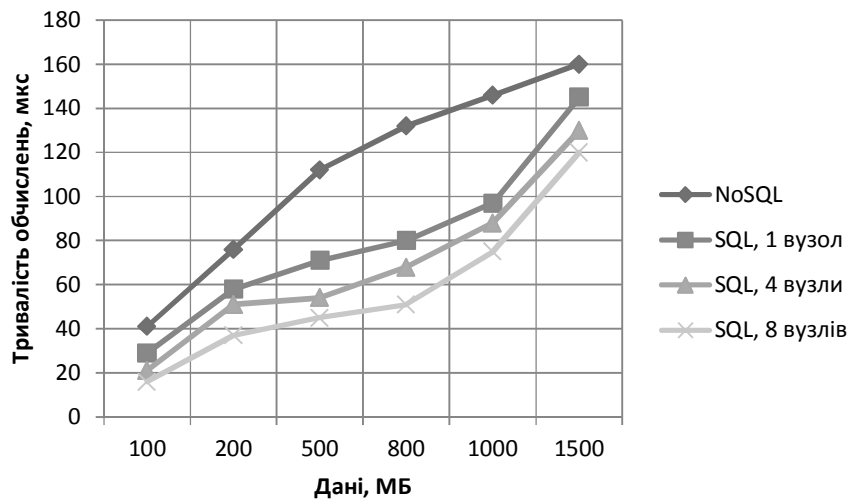


Рис. 3. Порівняння швидкостей оброблення запитів нереляційною та реляційними з різною кількістю вузлів базами даних

Результати, подані на рис. 3, показують, що реляційні бази даних швидше опрацьовують користувачські запити, час обчислень також можна зменшити, використовуючи більше вузлів, на яких зберігаються дані. На рис. 4 показано також залежність коефіцієнта оброблення запитів користувачів на отримання даних від обсягу запитуваних даних.

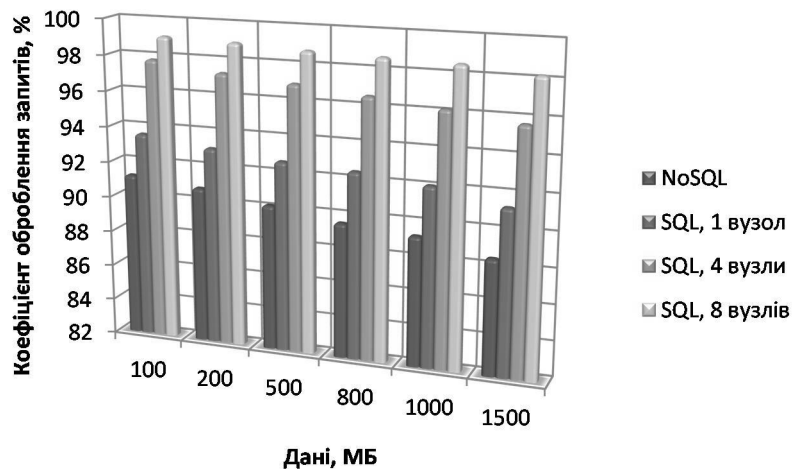


Рис. 4. Порівняння коефіцієнтів оброблення запитів нереляційною та реляційними з різною кількістю вузлів базами даних

На рис. 4 показано, що реляційні бази даних ефективніше обробляють запити користувачів, оскільки імовірність відмови в обслуговуванні менша. Крім того, у разі збільшення кількості вузлів, які володіють необхідними для користувачів даними, коефіцієнт оброблення запитів зростає і є високим навіть для великих обсягів запитуваної інформації. Результати досліджень показують можливість ефективнішого використання розподілених баз даних у системах промислового Інтернету речей. Визначивши необхідні параметри якості обслуговування запитів користувачів, можна підібрати найкращу архітектуру промислової системи та економічно вигідно залучати хмарні ресурси. Автоматизація процесу переконфігурування систем IIoT на основі аналізу навантаження та залучення хмарних баз даних детальніше буде розглянута в подальших дослідженнях.

Висновки

Вдосконалення цифрових технологій позначається на різних сферах людського життя. Системи промислового Інтернету речей дають змогу покращувати багато галузей, таких як виробництво, транспорт, медицина і чимало інших. Організування сучасних інформаційних систем передбачає інтегрування користувачів також у процес збирання та аналізу даних. Такий підхід дає змогу гнучкіше здійснювати управління та виправляти недоліки в роботі виробництва швидко й ефективно. Важливим питанням є можливість взаємодії різних користувачів системи IIoT між собою та із керуючими пристроями, а також спільного використання даних. Хмарні технології дають змогу розміщувати інформацію, яка необхідна для роботи і управління системою, у виділеному місці, де вона доступна різним користувачам та надійно збережена.

У роботі розглянуто особливості роботи промислових систем. Визначено основні проблеми, які виникають під час використання систем промислового Інтернету речей, та переваги розподіленої архітектури. Проаналізовано ефективність використання хмарних ресурсів для оброблення великих даних у розподілених системах IIoT. Виконано моделювання і дослідження оброблення запитів користувачів реляційними і розподіленими базами даних та визначено їх основні переваги, такі як висока швидкість і надійність. Отримані результати свідчать про доцільність використання хмарних і розподілених технологій для підвищення ефективності роботи промислових систем. Продемонстровано можливість підбирання оптимальних параметрів роботи системи IIoT для швидкого і надійного оброблення запитів користувачів.

Список використаних джерел

- [1] Hou X., Ren Z., Yang K., Chen C., Zhang H. and Xiao Y., "IIoT-MEC: A Novel Mobile Edge Computing Framework for 5G-enabled IIoT", 2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2019, pp. 1–7. DOI: 10.1109/WCNC.2019.8885703.
- [2] Koroniotis N., Moustafa N., Schiliro F., Gauravaram P. and Janicke H., "The SAir-IIoT Cyber Testbed as a Service: A Novel Cybertwins Architecture in IIoT-Based Smart Airports", in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. DOI: 10.1109/TITS.2021.3106378.
- [3] Al-Hawawreh M. and Sitnikova E. (2021), "Developing a Security Testbed for Industrial Internet of Things", in IEEE Internet of Things Journal, Vol. 8, No. 7, pp. 5558–5573, 1 April, 2021. DOI: 10.1109/JIOT.2020.3032093.
- [4] Nastase L. (2017), "Security in the Internet of Things: A Survey on Application Layer Protocols", 2017 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), pp. 659–666. DOI: 10.1109/CSCS.2017.101.
- [5] Klymash M., Kyryk M., Demydov I., Hordiichuk-Bublivska O., Kopets H. and Pleskanka N., "Research on Distributed Machine Learning Methods in Databases," 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), pp. 128–131, DOI: 10.1109/AICT52120.2021.9628949.
- [6] Sahu A. K., Sharma S., Tripathi S. S. and Singh K. N. (2019), "A Study of Authentication Protocols in Internet of Things", 2019 International Conference on Information Technology (ICIT), pp. 217–221. DOI: 10.1109/ICIT48102.2019.00045.

- [7] Mateev V. and Marinova I. (2021), “Distributed Internet of Things System for CO₂ Monitoring with LoRaWAN”, 2021 12th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), pp. 1–5. DOI: 10.1109/ELECTRONICA52725.2021.9513682.
- [8] Ikpehai A. et al. (2019), “Low-Power Wide Area Network Technologies for Internet-of-Things: A Comparative Review”, in *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 6, No. 2, pp. 2225–2240, April 2019. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2883728.
- [9] Mahmood A. and Zafar S. (2019), “Performance Analysis of Narrowband Internet of Things (NB-IoT) Deployment Modes”, 22nd International Multitopic Conference (INMIC), pp. 1–8. DOI: 10.1109/INMIC48123.2019.9022748.
- [10] Ikpehai A. et al. (2019), “Low-Power Wide Area Network Technologies for Internet-of-Things: A Comparative Review”, in *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 6, No. 2, pp. 2225–2240, April 2019. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2883728.
- [11] L. Ren, Y. Liu, X. Wang, J. Lü and M. J. Deen, “Cloud-Edge-Based Lightweight Temporal Convolutional Networks for Remaining Useful Life Prediction in IIoT”, in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 16, pp. 12578–12587, 15 Aug. 15, 2021. DOI: 10.1109/JIOT.2020.3008170.
- [12] Cui G. and Yi S. (2021), “Multi-mode Big Data Mining and Analysis Based on Internet of Things on Power”, 2021 6th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), pp. 365–370. DOI: 10.1109/ACPEE51499.2021.9437093.
- [13] Palaniswami M., Rao A. S., Kumar D., Rathore P. and Rajasegarar S. (2020), “The Role of Visual Assessment of Clusters for Big Data Analysis: From Real-World Internet of Things”, in *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, Vol. 6, No. 4, pp. 45–53, Oct. 2020. DOI: 10.1109/MSMC.2019.2961160.
- [14] Lv Z., Lou R., Li J., Singh A. K. and Song H. (2021), “Big Data Analytics for 6G-Enabled Massive Internet of Things”, in *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 8, No. 7, pp. 5350–5359, 1 April, 2021. DOI: 10.1109/JIOT.2021.3056128.
- [15] Wang C.-H., Kuo J.-J., Yang D.-N. and Chen W.-T. (2018), “Green Software-Defined Internet of Things for Big Data Processing in Mobile Edge Networks”, 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 1–7. DOI: 10.1109/ICC.2018.8422236.
- [16] Zannou A., Boulaalam A. and Nfaoui E. H. (2020), “Path Length Optimization in Heterogeneous Network for Internet of Things”, 2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS), pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICECOCS50124.2020.9314437.

INVESTIGATION ON EFFICIENCY OF USING OF DISTRIBUTED DATABASES EFFICIENCY IN IIOT SYSTEMS

M. Klymash, O. Hordiichuk-Bublivska, I. Tchaikovskiy, O. Kostiv

Lviv Polytechnik National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine

The Industrial Internet of Things (IIoT) determines the transformation of centralized systems into decentralized, more flexible, and efficient ones. Cloud technologies allow much more optimal use of IIoT resources. In the paper, the main features of the Industrial Internet of Things systems were investigated and the problems of smart manufacturing were analyzed. The necessity of using distributed architecture and cloud resources for flexible industrial systems organization was determined. In addition, the advantages of distributed computing for big data processing were established. The preference for relational databases over non-relational ones for data processing and the reliability of user requests service were defined. As well, the peculiarity of the relational database's operation was considered. For improving computational efficiency the use of a distributed database architecture was investigated. The benefits of involving cloud and distributed technologies in IIoT systems were determined. In this way, the possibility of choosing the most optimal parameters depending on the requirements for the industrial system productivity was defined. The opportunities for improving the quality of services in the Industrial Internet of Things by choosing the optimally distributed database architecture were determined.

Key words: *databases; SQL; distributed computing.*