

УДК 004.8:004.6:656.05

Микитишин А.Г., к.т.н., доц., Чуревич Б.В., Дильовий О.О.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ПРОМИСЛОВІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Mykytyshyn A.G., Ph.D., Assoc. Prof., Churevych B.V., Dylovyyi O.O.

INDUSTRIAL ENERGY MONITORING SYSTEMS BASED ON THE INTERNET OF THINGS

Граничні технології Інтернету речей у поєднанні зі звичайними промисловими процесами допомагають розвивати різноманітні додатки в епоху Промислового Інтернету речей (IIoT) та Індустрії 4.0, наближаючи технології хмарних обчислень до апаратного забезпечення. Інновації, що з'являються в результаті, пропонують інтелектуальне управління промисловими екосистемами, зосереджуючись на підвищенні продуктивності та зниженні експлуатаційних витрат завдяки локальній обробці великих обсягів даних. У цій роботі робимо огляд систем на основі Інтернету речей та периферії для моніторингу енергоспоживання стаціонарних та мобільних активів на заводі за допомогою бездротових та дротових лічильників енергії. Як тільки периферія отримує дані лічильника, вона зберігає інформацію на сервері бази даних, після чого застосовується метод обробки даних для знаходження дев'яти додаткових аналітичних параметрів. Периферія також надає головний користувацький інтерфейс (UI) для порівняльного аналізу та індивідуальний UI для поглибленого аналізу енергоспоживання, з подальшим оповіщенням про активність і неактивність, а також функціями щоденного звітування електронною поштою. Крім того, периферійний сервер використовує техніку фільтрації даних для надсилання даних одного бездротового лічильника в хмару для віддаленого моніторингу енергоспоживання та тривоги відповідно до обсягу проекту. Згідно з оцінкою, периферійний сервер ефективно обробляє дані із середнім завантаженням процесора до 5,58%, уникаючи при цьому помилок вимірювань через випадкові перебої в електропостачанні протягом дня.

Електрика є носієм електричного заряду, також відомим як вторинне джерело енергії, оскільки вона перетворюється з первинних джерел, таких як вугілля, викопне паливо, сонячна та вітрова енергія [1]. За останні кілька століть електрична енергія трансформувала світову екосистему: від заміни свічок і масляних ламп до безпрецедентних випадків використання в практичному житті, заклавши основу для нового цифрового світу [2] і діючи як вирішальний причинно-наслідковий зв'язок між розробками, якістю поставок, інфраструктурою та зростанням нашої економіки [3]. Згідно зі звітом Управління енергетичної інформації США за 2023 рік, очікується, що до 2050 року світове виробництво електроенергії зросте від 30% до 76% порівняно з 2022 роком, тоді як лише промислове енергоспоживання збільшиться з 9% до 62% [4]. Крім того, в іншому звіті прогнозується, що світовий попит на електроенергію зросте з 62% до 185% до 2050 року порівняно з 2021 роком [5]. Виходячи з прогнозу споживання електроенергії, наведеного в обох звітах, необхідно вжити негайних заходів для уникнення будь-яких проблем з дефіцитом електроенергії шляхом розробки інтелектуальних систем енергомоніторингу, які

допоможуть пом'якшити та оптимізувати споживання електроенергії, особливо в промислових цілях.

З іншого боку, моніторинг промислових процесів зазнає значного технологічного прогресу завдяки інтеграції інформаційних технологій (ІТ) з операційними технологіями (ОТ) в рамках зміни парадигми Індустрії 4.0 та промислового Інтернету речей (ІоТ). Ця еволюція створила значні можливості для моніторингу та управління енергією від її розподілу до використання в різних сферах, таких як інтелектуальний транспорт, «розумні» мережі, «зелений» Інтернет речей та «розумні» будівлі. Тим часом, оскільки швидко впровадження технології ІоТ забезпечує надійний моніторинг промислових польових пристроїв через хмару, її злиття з периферійними обчисленнями ще більше прокладає шлях для розробки масштабованих та інтелектуальних систем, наближаючи можливості хмарних обчислень до апаратного забезпечення, що призводить до поліпшення затримок у роботі та підвищення апаратного забезпечення, що призводить до покращення затримок. Інтелектуальні системи з підтримкою периферійних обчислень полегшують збір і зберігання великої кількості даних з польових пристроїв і підтримують моніторинг процесів з високим рівнем кастомізації та надійності. Крім того, периферійні платформи також підтримують обробку даних часових рядів з використанням механізму правил, щоб допомогти користувачеві в прийнятті рішень на основі даних, ефективному використанні ресурсів і зниженні операційних витрат.

У сучасних дослідженнях розглядають архітектури системи на основі периферійного Інтернету речей для моніторингу енергоспоживання стаціонарних і мобільних промислових процесів на виробничому майданчику промислового підприємства за допомогою функції обробки даних для обчислення додаткових показників енергоспоживання. Запропоноване рішення може використовувати промислові трифазні дротові та бездротові лічильники для моніторингу енергоспоживання різних промислових процесів та надсилання цієї інформації на периферійну машину, яка зберігає дані, обчислює нові параметри енергоспоживання за допомогою техніки обробки даних на основі JavaScript в механізмі периферійних правил, надає локальний інтерфейс користувача, а потім фільтрує та надсилає дані в хмару для віддаленого моніторингу одного бездротового лічильника відповідно до обсягу проекту. Запропоноване рішення представляє підхід до моніторингу індивідуальної аналітики з кожного лічильника енергії та колективної аналітики споживання енергії з усіх лічильників енергії, щоб полегшити кінцевому користувачеві моніторинг всієї системи на основі енергетичних параметрів, розрахованих за допомогою методу обробки даних. Крім того, вона також забезпечує тривожні події активності та неактивності, коли лічильник енергії недоступний протягом певного часу, і надсилає звіти панелі користувачеві електронною поштою. Нижче наведено основні аспекти досліджень:

- Розробка архітектури системи ІоТ для локального та віддаленого енергомоніторингу стаціонарних та мобільних промислових процесів на заводі.
- Реалізація методу обробки даних на основі JavaScript на периферії для обчислення нових параметрів енергоспоживання на основі зібраних даних лічильників енергії.
- Розробка загальних та індивідуальних інформаційних панелей енерголічильників для порівняльної та індивідуальної інформації про використання енергії.
- Реалізація сигналізації про активність/пасивність пристрою та функція звітування на основі електронної пошти для інтелектуального моніторингу енергоспоживання.

Інтеграція технологій Інтернету речей (ІоТ) та периферійних обчислень у промислові процеси сприяє ефективному управлінню енергоспоживанням. Запропоновані

на сьогодні системи забезпечують локальну обробку великих обсягів даних, підвищуючи продуктивність і знижуючи витрати. Такі системи підтримують моніторинг стаціонарних і мобільних активів за допомогою дротових і бездротових лічильників енергії, пропонує користувацькі інтерфейси для аналізу енергоспоживання, функції сповіщення та автоматизоване звітування. Система також інтегрує віддалений моніторинг через хмару та демонструє високу ефективність.

Література

1. Stern, D. I., Burke, P. J., & Bruns, S. B. (2019). The impact of electricity on economic development: A macroeconomic perspective. UC Berkeley: Center for Effective Global Action. Отримано September 26, 2024, from <https://escholarship.org/uc/item/7jb0015q>
2. U.S. Energy Information Administration (EIA). (n.d.). Electricity explained. Отримано 26, 2024, from <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/>
3. Stern, D., Burke, P., & Bruns, S. (2018). The impact of electricity on economic development: A macroeconomic perspective. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 12(1), 85–127. <https://doi.org/10.1561/101.00000109>
4. U.S. Energy Information Administration (EIA). (2023). International energy outlook 2023. Отримано September 26, 2024, from <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/narrative/index.php>
5. Raimi, D., Zhu, Y., Newell, R. G., Prest, B. C., & Bergman, A. (2023). Global energy outlook 2023: Sowing the seeds of an energy transition (Technical Report 23-02). Resources for the Future. Отримано September 26, 2024, from <https://www.rff.org/publications/reports/global-energy-outlook-2023/>