УДК 004.62:519.243

А.А. ПАНТЕЛЕЙМОНОВ
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *apanteleymonov@gmail.com.*

Д.І. ЩЕТИНІН
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *schetinin.d@gmail.com.*

А.В. ГАПОН
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: *gapon@nas.gov.ua.*

ВИСОКОПРОДУКТИВНЕ ОБЧИСЛЕННЯ АГРЕГАТІВ ЧАСОВИХ РЯДІВ ДАНИХ СЕНСОРІВ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ ІНКРЕМЕНТАЛЬНИХ СТАТИСТИК

Анотація. Запропоновано високопродуктивний підхід до оброблення часових рядів даних автономних газових та пилових IoT-сенсорів, що забезпечує швидке обчислення агрегатних характеристик (середнє, стандартне відхилення тощо) та індексу якості повітря AQI для довільних часових інтервалів. Підхід ґрунтується на зберіганні інкрементальних статистичних станів в оперативній пам'яті та використанні ієрархії часових блоків для обчислення екстремумів. Він виявився ефективним у системі моніторингу якості повітря на базі мережі LoRaWAN.

Ключові слова: AQI, CEP, LoRaWAN, часові ряди, інкрементальні статистики, кільцеві буфери.

DOI 10.34229/KCA2522-9664.26.6.17

ВСТУП

Розподілені мережі автономних сенсорів якості повітря створюють нетипове навантаження для аналітичних підсистем. З одного боку, окремий сенсор передає дані не надто часто: для LoRaWAN-пристроїв (Long Range Wide Area Network) інтервал між повідомленнями зазвичай вимірюється хвилинами [1], а для обчислення індексу якості повітря (Air Quality Index, AQI) нормативно важливими є годинні та добові агрегати [2]. З іншого боку, прикладна система повинна підтримувати багато користувацьких запитів: візуалізацію графіків, порівняння майданчиків, побудову ковзних вікон, кореляцію з фізіологічними показниками та контроль аномальних відхилень.

Під час розроблення методів і програмних засобів оцінювання впливу якості повітря на функціональний стан людини виникла потреба у підсистемі, яка швидко відповідає на такі запити: знайти середнє, мінімум, максимум, стандартне відхилення або розподіл значень за довільний період для набору сенсорів і параметрів [3]. Якщо кожний такий запит виконувати як SQL-агрегацію безпосередньо за даними таблиці первинних вимірювань, затримка зростає пропорційно обсягу періоду, кількості сенсорів та кількості одночасних користувачів.

Ключовий факт полягає в тому, що задача не потребує мілісекундної чи секундної точності часової осі. Для AQI та візуального аналізу достатнім є 10-хвилинний квант, що є розумним компромісом, зважаючи на частоту надходження телеметрії. Такий перехід до дискретної часової шкали узгоджується з класичним апаратом дискретного оброблення сигналів [4]. Отже, усі необхідні значення можна привести до дискретної шкали, а потім зберігати так, щоб запит за довільний інтервал працював з межами інтервалу, а не з усіма первинними точками.

Практична цінність запропонованого підходу полягає не лише в математичній властивості наростальних сум. Важливою є повна інженерна композиція: компактний формат історії, швидкі кільцеві структури, передбачувана робота з пам'яттю, асинхронне збереження станів, мінімізація синхронізації та інтеграція у граф асинхронного комплексного оброблення подій з використанням моделі публікації-підписки [5].

© А.А. Пантелеймонов, Д.І. Щетинін, А.В. Гапон, 2026