

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-30>

УДК 504.06, 621.38, 004.94

ЗАЩЕПКИНА Наталія

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-9397-6632>

e-mail: nanic1604@gmail.com

РУДНИЦЬКИЙ Роман

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0009-0008-4576-0210>

e-mail: romarudnytskiy@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСУ АГРЕГАЦІЇ ДАНИХ НА ОСНОВІ СЕНСОРІВ У ЗАВДАННЯХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

В рамках даного дослідження було розглянуто інженерні підходи до застосування ІВС екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів що базуються на методах агрегації даних (*data aggregation processes, DAP*) та використанні ІС агрегації даних (*Data Aggregation System, DAS*), та розгляд можливих шляхів проектування таких ІВС.

Метою та завданнями сучасного екологічного моніторингу є створення засад для захисту навколишнього середовища та формування цілісної та гармонійної системи «людина-природа». Дані завдання реалізуються зі застосуванням ІВС екологічного моніторингу та геоінформаційних систем (ГІС) та включають етапи: збір, збереження, обробку та відображення даних вимірювання та моніторингу. На кожному з цих етапів можуть проходити процеси агрегації та фільтрації даних, відповідно до заданих алгоритмів. Інформаційна процедура контролю (у випадку, коли об'єктом дослідження виступає виробничий процес) включає передачу показників стану досліджуваного об'єкту в одиницях виміру шкали вимірювання засобами ІВС та відповідність вимірювальної інформації нормальному ходу виробничого процесу відповідно до технічних умов (ТУ).

Важливою властивістю систем екологічного моніторингу чи контролю виробничих процесів є забезпечення функції вимірювального контролю, що особливо стосується систем реального часу та експрес-діагностики вибраних показників навколишнього середовища, для чого використовуються різні механізми у рамках процесу агрегації даних (*Data Aggregation Processes, DAP*). Агрегація даних, в широкому розумінні представляє собою багатостадійний процес збору, обробки, збереження і відтворення інформації, що висуває до ІС та ІВС певні вимоги стосовно архітектури такої системи та її наповнення складовими елементами.

Приділена увага структурі ІВС з боку програмної та апаратної частин. Розглянуто основні способи формування сенсорної мережі ІВС екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів. Показано важливість правильного вибору агрегатних функцій та врахування часових параметрів процесу DAP залежно від типу вхідних даних та структури низових рівнів (апаратних і програмних) такої ІВС. Розглянуто підходи до застосування технології формування запитів REST API (*Representational State Transfer*), в рамках ІВС екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів для формування розподілених систем на базі ІВС.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, ІВС, екологічний моніторинг, агрегація даних, *Data Aggregation Processes, Data Aggregation System, Wireless Sensor Network, RESTful service, реляційна БД, нереляційна БД.*

ZASHCHEPKINA Nataliia, RUDNYTSKY Roman

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

APPLICATION OF THE PROCESS OF DATA AGGREGATION BASED ON SENSORS IN THE TASKS OF ENVIRONMENTAL MONITORING AND INDICATOR CONTROL OF PRODUCTION PROCESSES

Within the framework of this study, engineering approaches to the application of environmental monitoring systems and control of production processes based on data aggregation processes (DAP) and the use of data aggregation systems (*Data Aggregation System, DAS*) were considered, as well as consideration of possible ways of designing such systems.

The purpose and tasks of modern environmental monitoring are to create the foundations for environmental protection and the formation of a complete and harmonious system of "man-nature". These tasks are implemented using environmental monitoring systems and geographic information systems (GIS) and include the following stages: collection, storage, processing and display of measurement and monitoring data. Data aggregation and filtering processes can take place at each of these stages, in accordance with given algorithms. The information control procedure (in the case when the production process is the object of the research) includes the transfer of indicators of the state of the researched object in measurement units of the measurement scale by means of IBS and compliance of the measurement information with the normal course of the production process in accordance with the technical conditions (TU).

An important property of systems for environmental monitoring or control of production processes is the provision of the function of measurement control, which especially applies to real-time systems and express diagnostics of selected environmental indicators, for which various mechanisms are used within the framework of the data aggregation process (*Data Aggregation Processes, DAP*). Data aggregation, in a broad sense, is a multi-stage process of collecting, processing, saving and reproducing information, which imposes certain requirements on IS and IBS regarding the architecture of such a system and its filling with constituent elements. Attention is paid to the structure of IBS from the software and hardware parts, structural levels represented

by software tools for solving specialized tasks, data processing methods at each level and typical input data formats are considered. The main ways of forming a sensor network of IBS for environmental monitoring and control of production processes are considered. The importance of the correct selection of aggregate functions and taking into account the time parameters of the DAP process depending on the type of input data and the structure of the lower levels (hardware and software) of such an IBS is shown.

Approaches to the application of REST API (Representational State Transfer) request generation technology, within the framework of IBS environmental monitoring and control of production processes for the formation of distributed systems based on IBS are considered.

Keywords: information and measurement system, IBS, environmental monitoring, data aggregation, Data Aggregation Processes, Data Aggregation System, Wireless Sensor Network, RESTful service, relational database, non-relational database.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Сучасна фундаментальна наука володіє широким спектром прикладних і теоретичних методів та інструментальних засобів, що дозволяють реалізувати функцію відображення стану реальних об'єктів та процесів у вигляді доступному для інтерпретації людиною, що забезпечується у процесі агрегації даних. Інтерес до засобів та методів відображення властивостей об'єктів багато в чому пояснюється тим, що цей метод пізнання активно використовується в тих областях діяльності людини, які дозволяють використання обчислювальної техніки і швидких та надійних каналів зв'язку: в кібернетиці, економіці, банківській справі, виробництві, медицині, природничих та технічних науках тощо. Особливо активно даний напрям почав розвиватися із широким впровадженням швидкісного Інтернету та інтернету речей (IoT - Internet of Things), бездротових сенсорних мереж (WSN - wireless sensor network) та штучного інтелекту.

Функція відображення реальних властивостей об'єктів та процесів, що є результатом агрегації даних, реалізується у процесі застосування об'єктивних (вимірювання, контроль, спостереження, моніторинг) процедур. Причому усі наведені вище процедури використовують системний підхід при реалізації та можуть утворювати методологічну базу побудови інформаційно-вимірювальних систем (ІВС).

В загальному випадку, під терміном моніторинг (англ. monitoring – спостереження) розуміють ієрархічну систему, що включає: спостереження, що повторюються, оцінку та прогноз змін досліджуваного об'єкту. Метою та завданнями сучасного екологічного моніторингу є створення засад для захисту навколишнього середовища та формування цілісної та гармонійної системи «людина-природа». Основними завданнями системи моніторингу є:

- 1) моніторинг (спостереження) впливових чинників (факторів), які можуть мати вплив на стан навколишнього середовища;
- 2) всебічний контроль поточного стану навколишнього середовища;
- 3) репрезентативна оцінка стану навколишнього середовища та прогнозування його змін протягом часу.

Дані завдання реалізуються із застосуванням ІВС екологічного моніторингу та геоінформаційних систем (ГІС) та включають етапи: збір, збереження, обробку та відображення даних вимірювання та моніторингу. На кожному і цих етапів можуть проходити процеси агрегації та фільтрації даних, відповідно до заданих алгоритмів.

Інструментальними засобами таких ІВС (від нижчого до вищого рівня) є первинні вимірювальні перетворювачі і системи первинних сенсорів; вимірювальні канали (ВК) ІВС; пристрої та підсистеми збереження, обробки та передачі вимірювальної інформації (агрегація даних); підсистеми аналізу, оцінки ситуації та прийняття рішень (з вибраним типом зворотних зв'язків); підсистеми відображення даних у доступному для кінцевого користувача вигляді.

Інформаційна процедура контролю (у випадку, коли об'єктом дослідження виступає виробничий процес) включає передачу показників стану досліджуваного об'єкту в одиницях виміру шкали вимірювання засобами ІВС та відповідність вимірювальної інформації нормальному ходу виробничого процесу відповідно до технічних умов (ТУ). Інструментальні засоби такої ІВС мають склад та взаємозв'язки як і у попередньому випадку.

Важливою властивістю систем екологічного моніторингу чи контролю виробничих процесів є забезпечення функції вимірювального контролю, що особливо стосується систем реального часу та експрес-діагностики вибраних показників навколишнього середовища. В даному випадку, задається граничний діапазон значень досліджуваного об'єкту та граничні умови, при досягненні яких спрацьовує виконавча система (або система прийняття рішень).

Повноцінною умовою функціонування механізму вимірювання, контролю та моніторингу в режимі реального часу є відсутність часових затримок в ІВС та/або ГІС або наявність методик компенсації помилок даних при їх спотвореннях.

При проектуванні систем моніторингу та/або контролю важливим є економічний аспект. Моніторинг або контроль не є самоціллю, основне значення має надаватися завданням, здатним продемонструвати, якою мірою задовольняється політика захисту навколишнього середовища та рентабельність виробництва з застосуванням вибраних методів та засобів контролю.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Завданням застосування методів агрегації даних в інформаційних процесах вимірювання, контролю і моніторингу об'єктів та процесів присвячено низку публікацій, які є орієнтиром при проведенні власного дослідження.

У статті [1] описано методи агрегації даних, що використовується для обробки та управління даними з метою виявлення незвичайних закономірностей та виведення вибраної інформації (фільтрація), економії місця для зберігання даних, або зменшення витрат на пропускну здатність каналів зв'язку та енергоспоживання ІС та ІВС. Запропоновано опис високорівневої таксономії процесів агрегації даних, яка отримала назву DAGGTAX (Data AGGregation TAXonomy) під час реалізації процесу агрегації даних (data aggregation processes, DAP) і демонструється корисність DAGGTAX для аналізу високорівневих специфікацій синхронізації.

Публікація [4] демонструє прототип вбудованої бездротової сенсорної мережі (WSN) для моніторингу температури, вологості та освітленості в навколишньому середовищі з використанням XML-схеми, а також її прикладну частину, яка відображає XML-дані. Відображення XML-даних передбачає отримання інформації, що зберігається в локальному або віддаленому XML-файлі, і відображення цієї інформації на сторінці.

Автори статті [3] досить повно описали приклад ІС для пошуку інформації на вимогу через реляційні та нереляційні розподілені джерела даних у процесі DAP. ІС забезпечує єдиний інтерфейс для відправки запитів всіх служб, шар кешування для прискорення доступу до витратних базових викликів та можливість об'єднання записів з різних служб даних, що стосуються одного первинного ключа. ІС системи агрегації даних (Data Aggregation System, DAS) використовує NoSQL БД. Описана система працює для аналізу та фільтрації даних при роботі Компактного мюонного соленоїда на Великому адронному колайдері ЦЕРН.

Дослідження, описане в публікації [4] показує можливі підходи до проектування ІВС агрегації даних первинних сенсорів, що пов'язані з лічильниками комунальних послуг в орендованих приміщеннях та аналіз даних із забезпеченням конфіденційності орендарів, для підтримки розкриття інформації про енергоспоживання в комерційних будівлях та впливу енергоспоживання в рамках екологічного моніторингу. Результати отримані на основі статистичного аналізу 715000 анонімних облікових записів лічильників у нежитлових приміщеннях шести комунальних підприємств США.

Стаття [5] ілюструє методики застосування багаторівневих методів (Multi-tier data aggregation) агрегації та фільтрації даних для великих масивів даних (Big Data) на основі сенсорів. Хоча ця робота більше зосереджена на агрегації даних в сенсорних мережах для досягнення енергоефективності, вона також демонструє, що ефективна обробка даних (DAP) на нижніх рівнях (датчики) значно скорочує обробку і фільтрацію на сервері (Big Data). У цій статті також порівнюється ефективність агрегації та обробки даних між різними типами баз даних (БД) без використання SQL.

Агрегація даних є одним із рішень для забезпечення конфіденційності даних споживачів, що доводить публікація [6]. Авторами проводиться короткий порівняльний аналіз деяких сучасних схем агрегації даних (DAP) із забезпеченням конфіденційності з точки зору вимог до безпеки, а також оцінки продуктивності DAS. В даному випадку DAP використовується для забезпечення конфіденційності даних споживачів шляхом об'єднання показників лічильників на шлюзі, щоб зловмисник не міг ідентифікувати інформацію окремого користувача.

Резюмуючи вищенаведене, можна зробити висновок, що застосування методів агрегації даних (data aggregation processes, DAP) та використання ІС агрегації даних (Data Aggregation System, DAS) широко застосовуються у вирішенні різних прикладних та наукових задач, на виробництві та у сфері обліку послуг, а тому заслуговує на подальше дослідження.

МЕТА РОБОТИ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Основним завданням роботи є удосконалення підходів до застосування ІВС екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів, що базуються на методах агрегації даних (data aggregation processes, DAP) та використанні ІС агрегації даних (Data Aggregation System, DAS), та розгляд можливих шляхів проектування таких ІВС.

В цілому, більшість ІВС, що становлять основу систем моніторингу (в тому числі й екологічного) та включають підсистему контролю процесів (виробничих, наукові дослідження, сфера послуг тощо) відповідають структурній схемі, яку можна у спрощеному вигляді описати наступним чином:

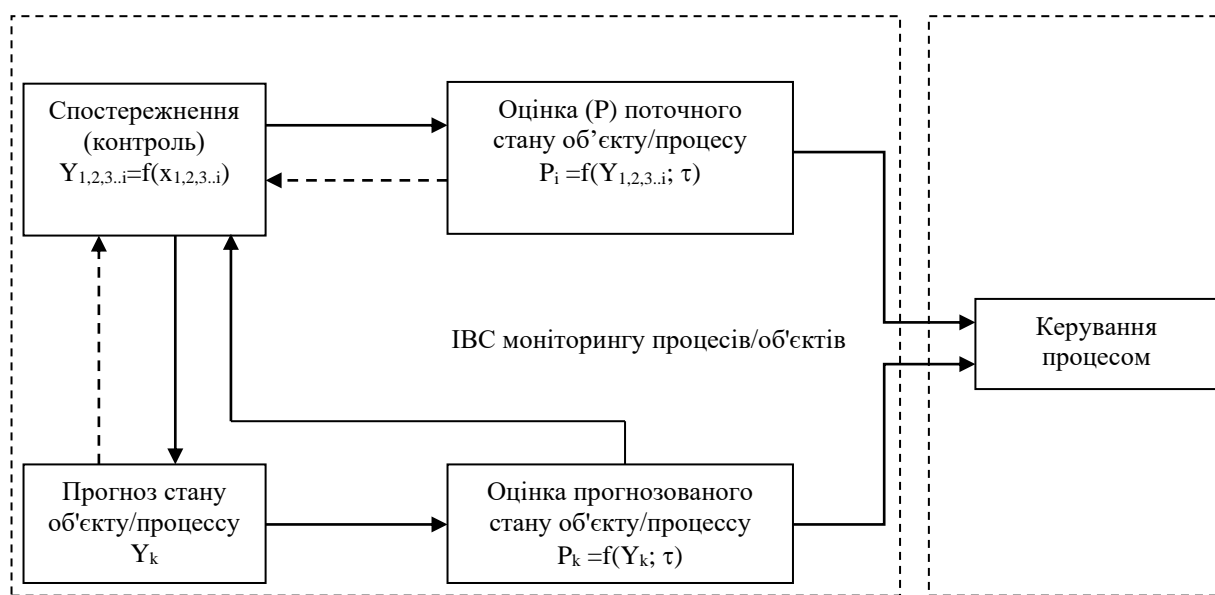


Рис. 1. Структурна схема ІВС моніторингу процесів/об'єктів, що включають підсистему контролю процесів (екологічних, виробничих, наукові дослідження, сфера послуг тощо)

У даній схемі (рис. 1) блоки «Спостереження» та «Прогноз» тісно пов'язані один із одним, так як прогнозування стану процесу/об'єкту у майбутньому є можливим лише при наявності достатньо точного, достовірного та повного набору інформації що відображає його фактичний стан. Направленість прогнозу в значній мірі визначає склад та структуру ІВС моніторингу навколишнього середовища.

Доступний набір даних, що відображає стан досліджуваного процесу/об'єкту (природного середовища, виробничого процесу) та отриманий в результаті спостережень або прогнозу, повинен оцінюватись в залежності від того, в якій галузі людської діяльності вони використовуються (за допомогою спеціально вибраних чи вироблених критеріїв). Оцінка (прогноз) необхідна для вибору оптимальних умов людської діяльності, співставленню наявного стану досліджуваного об'єкту/процесу технічним умовам та межі допустимих навантажень на навколишнє природне середовище.

Відповідно до положень теорії інформації, результат моделювання чи прогнозування, при роботі ІВС, залежить не лише від вибраних методів та засобів обробки інформації, але й від властивостей вхідних даних що повинні відповідати певному набору критеріїв, - не повному, але достатньому для валідного результату відображення описуваної моделі або прогнозу реальному стану явища чи процесу, що досліджується. Такими властивостями вхідної (вимірювальної) інформації для ІВС, як технічної системи обробки інформації, та для завдань формування її БД, можна вважати в першу чергу: точність, достовірність та повноту (за Глушковим В.М) [7].

Інтерпретації результатів вимірювань, контролю, моніторингу та прогнозування лежать в основі описового аналізу (descriptive analysis, DA).

Існує декілька рівнів ієрархії в процесах агрегації даних. Наприклад, первинний вимірювач контролю виробів на виробничій лінії, агрегує дані з декількох сенсорів. Агреговані дані (у вигляді первинної вимірювальної інформації) з декількох вимірювальних каналів (ВК) можуть бути зібрані в хмарі (Cloud Computing) за допомогою мережових протоколів для багатofакторного аналізу виробничої лінії. У цьому прикладі агрегація даних є основою робочого процесу програми і безпосередньо впливає на якість програмної системи.

Основними складовими процесу DAP в ІС та ІВС є: підготовка вихідних даних, агрегування первинних даних (використовуючи функцію агрегування), подальша обробка агрегованих даних. В рамках таких систем різні агрегації можуть мати різні вимоги, які повинні задовольнятися за допомогою дизайну серверної та програмної частини.

Наприклад, якщо одна агрегація отримує дані пасивно з джерела даних, інша агрегація повинна активно збирати дані з бази даних, до якої одночасно мають доступ інші процеси. Така неоднорідність збільшує складність у розробці відповідного рішення з декількома агрегаціями. Достовірність даних залежить від часу їх збору та доступу до них, а також від правильності доступу до них, а коректність процесу залежить від того, чи завершився він вчасно. Ці обмеження в реальному часі також додають складності дизайну системі агрегації даних (Data Aggregation System, DAS) із використанням БД.

Ієрархічне підпорядкування процесів агрегації даних можна представити у вигляді високорівневої таксономії процесів агрегації даних, яка отримала назву DAGGTAX (Data AGGregation TAXonomy) [1].

ІС або ІВС, що здатна до агрегації даних (DAS), може мати сталу або довільну структуру, зазвичай будується на «клієнт-серверній» архітектурі, містить БД реляційного або не реляційного типу та систему керування базою даних (СКБД). Ефективним рішенням ІВС для екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів можна вважати (DAS), що містить єдиний інтерфейс для відправки запитів служб, включаючи інтерфейси, до кількох різних реляційних баз даних та нереляційних служб даних. Це пов'язано з тим, що такі складові у виробничих або польових умовах можуть не мати спільних структур даних або API (інтерфейсів програмування застосунків) і не можуть наразі бути легко об'єднані. DAS повинна мати можливість об'єднання записів з різних служб даних, що стосуються одного первинного ключа, та містити шар кешування для прискорення доступу до витратних базових викликів.

Приклад подібної системи описано в роботі [3]. DAS розроблено, як додатковий шар поверх гетерогенної екосистеми існуючих служб даних CMS. Веб-сервер обробляє сеанси користувачів, чи то вони походять з браузера, чи з автоматизованих скриптів. Запити, зроблені тут, передаються на сервер кешування для обробки, протягом якої веб-сервер періодично опитує поточний стан та відображає його користувачеві за допомогою AJAX (асинхронна JavaScript та XML), доки запит не буде завершено.

Архітектура DAS розроблена, як серія незалежних компонентів, які можуть масштабуватися від роботи всіх на одному вузлі до кількох вузлів та дублюватися компонентами за потреби (рис. 2).

В ІВС моніторингу навколишнього середовища та контролю виробничих процесів можна виділити структурні рівні.

Найвищий рівень ІС або ІВС містить модулі прийняття рішень. Вони дозволяють контролювати та керувати технологічними процесами або проводити всебічну оцінку стану навколишнього середовища. Проміжний рівень ІС може містити засоби для аналізу вимірювальної інформації (агрегація та фільтрація даних за вибраними критеріями). Базовий (елементарний) рівень збору та обробки інформації у ІВС може містити окремі датчики та сенсорні мережі збору первинної вимірювальної інформації.

Початковий масив вимірювальної інформації може мати значну розмірність, так як повинен відповідати базовим інформаційним критеріям (перевірка на точність, достовірність, повноту). Формати даних вхідної вимірювальної інформації у цифровій формі (після аналогово-цифрового перетворення) доцільно подавати у базових форматах мережних протоколів, наприклад *.csv, *.json, *.xml. Такі формати мають оптимальний тип представлення даних та їх атрибутів.

Для розподілених систем і ІВС екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів на їх базі важливим є отримання інформації про стан об'єктів із максимально можливою кількістю атрибутів та взаємозв'язків між ними. Застосування технології формування запитів REST API (Representational State Transfer) у протоколах міжпрограмної взаємодії дозволяє будувати архітектуру розподілених систем, що дозволяє всебічний аналіз досліджуваного об'єкту чи процесу.

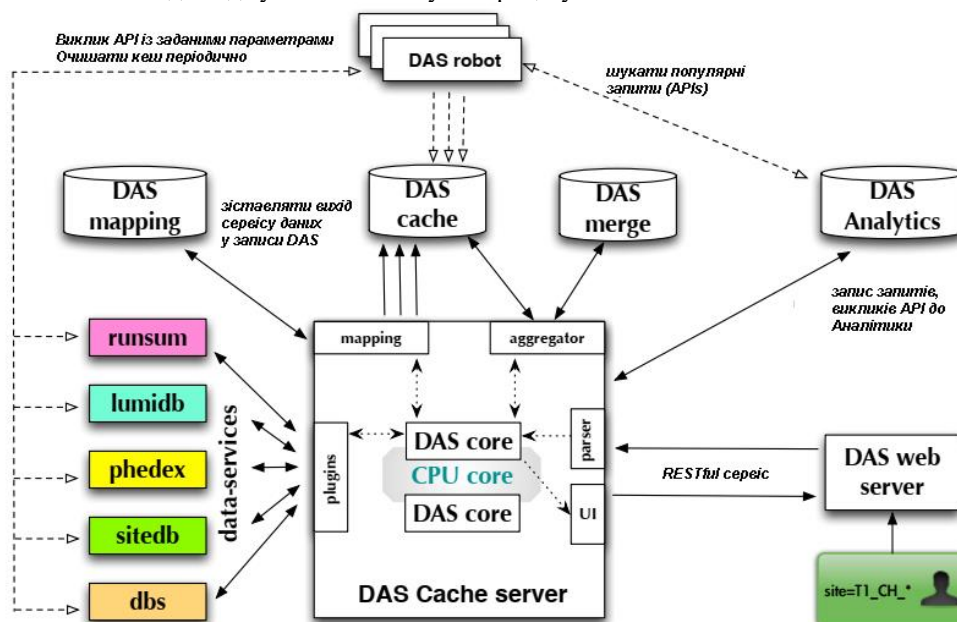


Рис. 2. Архітектура побудови DAS, що показує взаємозв'язки між веб-сервером, сервером кешу, аналітикою, службами даних і NoSQL БД (кеш і злиття) [3]

Іншим важливим (і бажаним) критерієм функціонування DAS є визначена і чітко структурована архітектура системи/систем збору і підготовки даних. Ефективним рішенням може слугувати використання

бездротової (WsSN) чи дротової сенсорної мережі (WdSN) для екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів з використанням XML-схеми, а також веб-додатку, що може віддалено викликатися кінцевим користувачем.

Використовуючи таку систему можна контролювати вибрані показники навколишнього середовища чи виробничих процесів, до яких можна отримати доступ через Інтернет. DAS є ще одним веб-додатком, оскільки надає доступ через HTTP, може бути викликаний іншими веб-додатками, як показано на рис. 3.

Наведена структура DAS схожа на "павутину веб-додатків". Хоча трьохрівнева модель з'єднує користувачів і внутрішні системи, загальна модель веб-додатків може з'єднувати один веб-додаток з іншим. XML є форматом даних, що обирається для такого зв'язку [2].

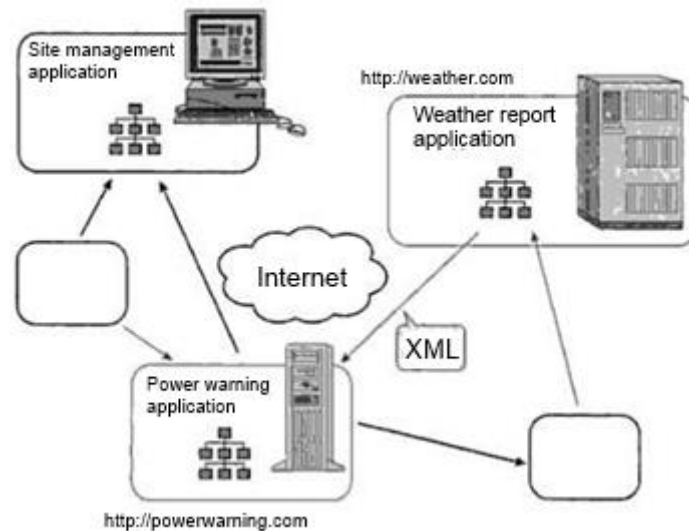


Рис. 3. Архітектура побудови DAS типу «клієнт-сервер» із застосуванням XML та доступу до віддалених веб ресурсів [2]

У випадку застосування DAS первинною вимірювальною ланкою якої є сенсорні мережі певного типу (WsSN чи WdSN) може бути використана схема з декількома ланцюгами, яка розділяє всю мережу на декілька регіонів з центром у вузлі, що знаходиться найближче до центру області контролю (рис. 4).

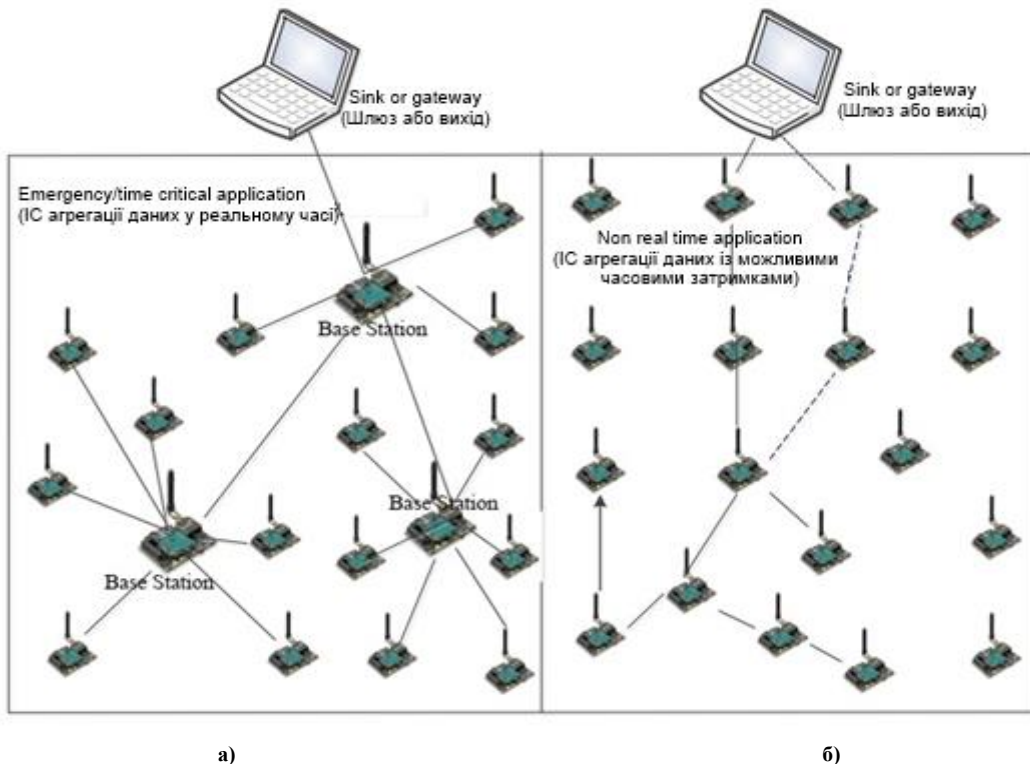


Рис. 4. Види агрегації даних рівня первинних вимірювальних перетворювачів [5]

Для кожної області будується лінійний ланцюг, який закінчується в центральному вузлі. Схеми з декількома ланцюгами мають на меті зменшити загальну відстань передачі для випадку «всі до всіх». В алгоритмі побудови «вузького» ланцюга, процес починається з найвіддаленішого від входу вузла. Цей вузол є головою ланцюга. На кожному кроці вибирається найближчий до голови ланцюга не ланцюговий вузол, який додається до ланцюга як нова голова. Процедура повторюється до тих пір, поки всі вузли не опиняться в ланцюжку. Цей підхід удосконалюється шляхом включення неланцюгового вузла в ланцюг, як лідера ланцюга, що забезпечує скорочення відстані порівняно з іншими вузлами, якщо вони включені в ланцюг як лідери (рис. 4, б).

Інший тип методів агрегації даних - на основі сітки. Кожна сітка має агрегатор даних, і всі датчики в сітці передають дані до агрегатора сітки. При агрегації даних у мережі дані агрегуються на базових вузлах (Base station), потім вони передаються до концентратора в корені дерева (рис. 4, а).

На рис. 5 представлено гібридну 3-х рівневу схему агрегації даних, яка поєднує в собі найкращі риси схем агрегації на основі грид-мережі та In-network.

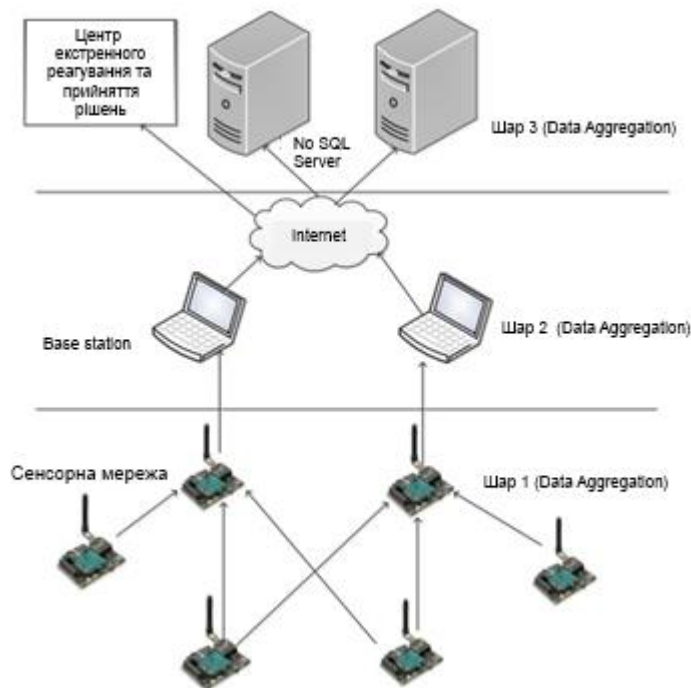


Рис. 5. Трирівнева архітектура агрегації та фільтрації даних на основі датчиків [5]

Топологія мережі спочатку будується на основі підходу агрегації даних в мережі. Як тільки подія виявляється датчиком, датчик слідує внутрішньомережевій схемі, якщо дані надходять зі стаціонарних додатків. Якщо дані надходять з мобільного додатку, для агрегації даних використовується сітковий підхід.

Запропонована архітектура агрегації та фільтрації даних має три рівні: рівень 1 Агрегація даних на датчиках; Агрегація даних рівня 2 на базовій станції; рівень 3 Агрегація даних на сервері великих даних або на No-SQL сервері.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Агрегація даних, в широкому розумінні представляє собою багатостадійний процес збору, обробки збереження і відтворення інформації, що висуває до ІС та ІВС певні вимоги стосовно архітектури такої системи та її наповнення складовими елементами.

В рамках даного дослідження було розглянуто інженерні підходи до застосування ІВС екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів, що базуються на методах агрегації даних (data aggregation processes, DAP) та використанні ІС агрегації даних (Data Aggregation System, DAS), та розгляд можливих шляхів проектування таких ІВС.

В якості основи для реалізації ІВС було вибрано «клієнт-серверну» архітектуру, розглянуто шляхи реалізації бази даних та СКБД ІВС екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів.

Приділена увага структурі ІВС із боку програмної та апаратної частин, розглянуто структурні рівні, що представлені програмними засобами для вирішення спеціалізованих завдань, способи обробки даних на кожному рівні та типові формати вхідних даних.

Розглянуто основні способи формування сенсорної мережі типу WsSN чи WdSN IBC екологічного моніторингу та контролю виробничих процесів, як низового рівня підсистеми агрегації даних.

В рамках даного дослідження виділено поняття ієрархічного підпорядкування процесів агрегації, що представлено у вигляді високорівневої таксономії процесів агрегації даних DAGGTAX (Data AGGregation TAXonomy). Показано важливість правильного вибору агрегативних функцій та врахування часових параметрів процесу DAP залежно від типу вхідних даних та структури низових рівнів (апаратних і програмних) такої IBC.

Розглянуто можливість застосування протоколів міжпрограмної взаємодії із використанням технології формування запитів REST API (Representational State Transfer) у проектуванні IBC контролю процесів та стану навколишнього середовища.

В результаті вищенаведених висновків зроблено висновок, що організації процесів агрегації даних (DAP) в системах екологічного моніторингу і контролю виробничих процесів потребує чіткої архітектури підсистем, використання вибраної структури структурних рівнів (апаратної та програмної складових) та повинна включати можливість використання міжпрограмних протоколів взаємодії для побудови розподілених систем. Структура підсистем збору інформації такої IBC (сенсорна мережа типу WsSN чи WdSN) залежить в першу чергу від вимог кінцевого користувача і проектується та інтегрується в архітектуру IBC.

Література

1. Cai, Simin & Gallina, Barbara & Nyström, Dag & Secleanu, Cristina. (2019). Data aggregation processes: a survey, a taxonomy, and design guidelines. *Computing*. 101. 10.1007/s00607-018-0679-5.
2. Bithika Mahata, Srabani Chatterjee, Kalyan Mahata, Ruben Roy . A New Method in Data Aggregation of Wireless Sensors Network using XML Scheme. 2nd International conference on Computing Communication and Sensor Network 2013. CCSN2013, 3 (December 2013), 16-19.
3. Ball, Gordon & Kuznetsov, Valentin & Evans, D. & Metson, S.. (2011). Data Aggregation System - a system for information retrieval on demand over relational and non-relational distributed data sources. *Journal of Physics: Conference Series*. 331. 10.1088/1742-6596/331/4/042029.
4. Livingston, Olga & Pulsipher, Trenton & Anderson, David & Vlachokostas, Alex & Wang, Na. (2018). An Analysis of Utility Meter Data Aggregation and Tenant Privacy To Support Energy Use Disclosure in Commercial Buildings. *Energy*. 159. 10.1016/j.energy.2018.06.133.
5. Al-kahtani, Mohammed & Karim, Lutful. (2021). Multi-tier data aggregation and filtering techniques for sensor- based big data. *JOURNAL OF APPLIED INFORMATICS AND COMPUTING*.
6. Kabir, Farzana & Qureshi, Amna & Megias, David. (2021). A Study on Privacy-Preserving Data Aggregation Techniques for Secure Smart Metering System.
7. Н. М. Зашепкіна, Р. Р. Рудницький «Застосування систем агрегації даних в завданнях екологічного моніторингу», Приладобудування: стан і перспективи: зб. пр. XXIII Міжнар. наук.-техн. конф., 14-15 травня. 2024 р., – Київ: КПІ, 2024. – С. 140-145.
8. Н. М. Зашепкіна, В. Г. Здоренко, О. А. Наконечний, та Р. Р. Рудницький «Застосування програмного додатка для агрегації даних спектрометричних вимірювань», Сучасні досягнення в науці та освіті : зб. пр. XVI Міжнар. наук. конф., 1-8 листоп. 2021 р., м. Нетанія (Ізраїль). – Хмельницький: ХНУ, 2021. – С. 92-95

References

1. Cai, Simin & Gallina, Barbara & Nyström, Dag & Secleanu, Cristina. (2019). Data aggregation processes: a survey, a taxonomy, and design guidelines. *Computing*. 101. 10.1007/s00607-018-0679-5.
2. Bithika Mahata, Srabani Chatterjee, Kalyan Mahata, Ruben Roy. A New Method in Data Aggregation of Wireless Sensors Network using XML Scheme. 2nd International conference on Computing Communication and Sensor Network 2013. CCSN2013, 3 (December 2013), 16-19.
3. Ball, Gordon & Kuznetsov, Valentin & Evans, D. & Metson, S. (2011). Data Aggregation System - a system for information retrieval on demand over relational and non-relational distributed data sources. *Journal of Physics: Conference Series*. 331. 10.1088/1742-6596/331/4/042029.
4. Livingston, Olga & Pulsipher, Trenton & Anderson, David & Vlachokostas, Alex & Wang, Na. (2018). An Analysis of Utility Meter Data Aggregation and Tenant Privacy To Support Energy Use Disclosure in Commercial Buildings. *Energy*. 159. 10.1016/j.energy.2018.06.133.
5. Al-kahtani, Mohammed & Karim, Lutful. (2021). Multi-tier data aggregation and filtering techniques for sensor- based big data. *JOURNAL OF APPLIED INFORMATICS AND COMPUTING*.
6. Kabir, Farzana & Qureshi, Amna & Megias, David. (2021). A Study on Privacy-Preserving Data Aggregation Techniques for Secure Smart Metering System.
7. N. M. Zashchepkina, R. R. Rudnytskyi "Application of data aggregation systems in the tasks of environmental monitoring", Utility construction: state and prospects: coll. Ave. XXIII International science and technology conference, May 14-15. 2024, - Kyiv: KPI, 2024. - P. 140-145.
8. N. M. Zashchepkina, V. G. Zdorenko, O. A. Nakonechnyi, and R. R. Rudnytskyi "Application of a software application for the aggregation of spectrometric measurement data", Modern achievements in science and education: coll. Ave. XVI International. of science conference, November 1-8 2021, Netanya (Israel). – Khmelnytskyi: KhNU, 2021. – P. 92-95.