

УДК 504.064.36:574+004.67

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ В СИСТЕМАХ
МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАСНОВАНИХ НА ІОТ****Критська Я.О., Скарга-Бандурова І.С., Топчій А.О.****METHODS AND MODELS FOR DATA ACQUISITION
AND PROCESSING IN WATER MONITORING SYSTEMS BASED ON IOT****Krytska Ya.O., Skarga-Bandurova I.S., Topchii A.O.**

У статті представлений огляд існуючих та перспективних методів он-лайн моніторингу забруднюючих речовин водних об'єктів, що ґрунтуються на використанні технології інтернету речей (IoT). Проаналізовані засоби збору даних. Для вирішення проблеми ефективного збору, збереження і передачі даних з великої кількості вузлів-джерел пропонується використання моделей компресійного вимірювання, що дозволяють використовувати апріорну інформацію за умов нестабільності даних в мережах.

Ключові слова дані, водний об'єкт, інтернет речей, IoT, компресійне вимірювання, модель

Вступ. Розвиток інформаційних технологій, зокрема технології інтернет речей (Internet of Things, IoT) відкрили новий етап у розвитку екологічного моніторингу. Моніторинг водних об'єктів охоплює спостереження і оцінку екологічного стану різних водних біологічних систем, які знаходяться на земній поверхні - річок, озер, перехідних або прибережних вод, штучних або істотно змінених водойм. Особливістю сучасного моніторингу є широке використання різноманітних приладів, сенсорів і комунікаційних інфраструктур, здатних передавати і обробляти дані в режимі реального часу. Разом з тим, для ефективного збору та обробки даних на кінцевих вузлах інформаційних систем, заснованих на IoT, необхідна система збору даних з низькими витратами енергії та можливістю одночасного обслуговування великої кількості IoT пристроїв. Невідповідність і неузгодженість в роботі різних підсистем моніторингу значно ускладнює реальну оцінку стану водних об'єктів і можливості реагування на їх зміни.

Метою роботи є пошук моделей і методів, що дозволять одночасно збирати й обробляти інформацію з різних пристроїв IoT.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети, в роботі розглядаються наступні питання: огляд методів он-лайн моніторингу

забруднюючих речовин водних об'єктів; аналіз параметрів, що вимірюються для всіх типів водних об'єктів; аналіз засобів збору даних і можливостей співіснування різних систем IoT, задіяних в процесі контролю водних об'єктів; моделі для одночасної обробки великих обсягів гетерогенної інформації з масивних пристроїв IoT.

Дослідження якості вод проводиться в різноманітних ділянках:

- місця скидання стічних і вод зливових каналізацій населених місць, сільськогосподарських комплексів;
- місця скидання стічних вод окремих підприємств, електростанцій, великих промислових комплексів;
- місця скидання колекторно-дренажних вод, що відводяться з зрошуваних або осушуваних земель;
- кінцеві створи великих і середніх річок, що впадають в моря, внутрішні водойми;
- межі районів, територіальний одиниць, транскордонні водні об'єкти;
- в районах водокористування та прилеглих територій;
- місця нересту і концентрування цінних / рідкісних видів фауни водойм;
- місця розробки і транспортування корисних копалин.

Основними параметрами, що вимірюються є алюміній, аміак й іони амонію, зважені речовини, гідрокарбонати, Біохімічне споживання кисню (БПК), смак і присмак, водневий показник (рН), залізо загальне, жорсткість загальна, запах (без нагрівання), кальцій, карбонати, метали важкі (мідь, свинець, цинк), нікель, пінявість, нафтопродукти, нітрати, нітрити, окислюваність біхроматна (ХПК), окислюваність перманганатна, поверхнево-активні речовини (ПАР), аніоноактивні речовини, прозорість, сухий залишок, сульфати, розчинений кисень, сірководень (сульфіди), феноли, фосфати

(поліфосфати, загальний Р), хлориди, фториди, хромати (сумарно), каламутність, кольоровість.

В табл. 1. надано перелік найчастіше вимірюваних параметрів води та пов'язані з ними технології вимірів [1, с. 3].

Таблиця 1

Основні параметри води та пов'язані з ними технології вимірів

Параметр	Технологія вимірювання
Алюміній	Колориметрія; Атомно-абсорбційна спектрометрія
Сурма	Атомно-абсорбційна спектрометрія
Аміак й іони аммонія	Колориметрія (Ручні заміри; Реагент Несслера; Автоматизований; Реакція Berthelot); Іонні селективні електроди
Активний Хлор	Колориметрія; Мембранні електроди; Полярографічні мембрани; 3-електродний вольтометричний метод
Провідність	Осередки провідності; кільцеві електроди; нікелеві електроди; електроди титану або благородного металу
Розчинений кисень	Мембранні електроди; 3-електродний вольтометричний метод; оптичні датчики
Іони (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺)	Іоноселективні електроди
Потенціал окислення-зменшення (ORP)	Потенціометри; електроди платини або благородного металу
pH	Титрування гідроксидом натрію; протонні селективні склобалочні електроди, протон-селективні оксиди металу; Іонно-чутливі польові транзистори (ISFET)
Фосфати	Ручна або автоматизована колориметрія
Температура	Термістори
Загальний органічний вуглець (ТОС)	УФ-персульфатне перетравлення з близьким інфрачервоним виявленням або мембранним кондуктометричним виявленням CO ₂
Каламутність	Оптичні датчики; Метод нефелометричного світлорозсіювання

Відносно фізико-хімічних характеристик, загальними параметрами, що вимірюються, для всіх типів водних об'єктів (річки, озера, перехідні води, узбережні води, штучні та сильно змінені поверхневі води та ін.) є:

- прозорість;
- температурні умови;
- насиченість киснем;
- солоність;
- концентрація живильних речовин.

Що стосується специфічних забруднюючих речовин, то вони можуть обиратися в залежності від типів забруднювачів, що виявляють в окремих водних об'єктах, які підлягають контролю. При цьому, способи відбору проб також залежать від типу об'єкта. Так, наприклад, для річок відбір проб виконується з урахуванням наступних вимог:

1) попередньо визначається точки і глибини відбору;

2) відбір проводиться вниз за течією потоку, розташовуючи на потрібній глибині вище за течією в точці повного змішання вод (місцях максимально бурхливої течії, де потоки добре перемішуються);

3) при відборі необхідно враховувати добову циклічність, сезонність, режим періоду (паводок, межень);

4) для забезпечення достовірних результатів інструментального контролю необхідно:

- виконувати вимоги чистоти пробовідбірної посуду;

- дотримуватися всіх вказівок щодо роздільного відбору проб для усунення впливу компонентів які заважають один одному;

- дотримуватися всіх вказівок щодо консервації деяких компонентів води через протікання в пробі процесів окислення-відновлення, сорбції, седиментації, біохімічних процесів, викликаних життєдіяльністю мікроорганізмів.

Для відбору проб води з озер необхідно виконувати наступні рекомендації:

1) застосовувати плановий статистичний відбір, враховуючи історичну хронологію водойми;

2) враховувати слабопроточність і значну неоднорідність води в горизонтальному напрямку (по глибині) - через термальну стратифікацію, причиною якої можуть бути фотосинтез в поверхневій зоні, підігрів води, вплив донних відкладень і ін. у великих глибоких водоймах може з'являтися внутрішня циркуляція.

3) виконувати п. (4) вимог до відбору проб для річок.

Для підземних вод:

1) визначити глибину горизонту;

2) оцінити градієнти підземних потоків, склад підземних порід через який протікає горизонт для визначення концентрацій домішок, відмінних за складом від водоносного шару;

3) враховувати можливість наявності декількох водоносних горизонтів, особливо, якщо проби беруться на різних глибинах;

4) прокачати свердловину протягом 10-15 хвилин перед відбором для поновлення води з накопиченим забруднювачем.

Для питних, водопровідних мереж:

1) при виборі місця відбору:

- не використовувати кінцеві ділянки мереж і ділянки з трубопроводами малого діаметра (менше 1,2 см);

- використовувати ділянки з турбулентним потоком (крани поблизу клапанів, вигинів);

2) спустити воду для оновлення протягом 10-15 хвилин;

3) відбір проводити з повільною течією потоку і повним переливом пробовідбірної ємності.

Традиційні засоби збору даних, що ґрунтуються на лабораторних методах аналізу представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Засоби реалізації збору даних	
Тип вод	Засоби збору даних
Поверхневі води	- стаціонарні станції; - пересувні пости; - автоматизовані системи спостережень; - системи дистанційного зонування (геоінформаційних систем, і т.д.); - атестовані стаціонарні інструментальні лабораторії.
Підземні джерела у т.ч. питні води	- мережа спостережних свердловин на ділянці водозабору та прилеглої території; - атестовані стаціонарні інструментальні лабораторії.
Моря, океани	- стаціонарні станції; - пересувні пости; - системи дистанційного зонування.
Стічні води	- стаціонарні станції; - пересувні пости; - автоматизовані системи спостережень; - атестовані інструментальні лабораторії.

Для поверхневих вод спостереження проводяться з урахуванням гідрометричних умов і морфологічних об'єктів водних систем, даних наявності джерел забруднення, обсягу і параметрів складу стічних вод.

Для вод морів та океанів межі мережі моніторингу визначають залежно від фізико-географічних особливостей кожного моря/океану, з урахуванням розподілу забруднюючих речовин і гідрометеорологічного режиму.

Що стосується перспективних засобів он-лайн моніторингу, більшість з них ґрунтується на технології IoT і містять різноманітні пристрої, сенсори (волоконно-оптичні сенсори, lab-on-chip, біосенсори, ЕМ-сенсори, у тому числі мікрохвильові, та ін.), веб платформи, хмарні сервери, центри управління та обробки інформації.

Очевидно, що різноманітність параметрів, засобів та умов збору даних обумовлюють використання різних платформ IoT, що потребують особливих методів збору, передачі та опрацювання даних. Більше того, в реальному житті різні засоби, середовища та платформи IoT повинні співіснувати з іншими типами ІТ.

Якщо припустити, що кілька платформ IoT можуть використовуватися одночасно для вимірювання параметрів з річок, озер, морів, підземних вод тощо, неодмінно виникне питання одночасної обробки великих обсягів гетерогенної

інформації з масивних пристроїв IoT. Приклад співіснування різних систем IoT надано на рис. 1.

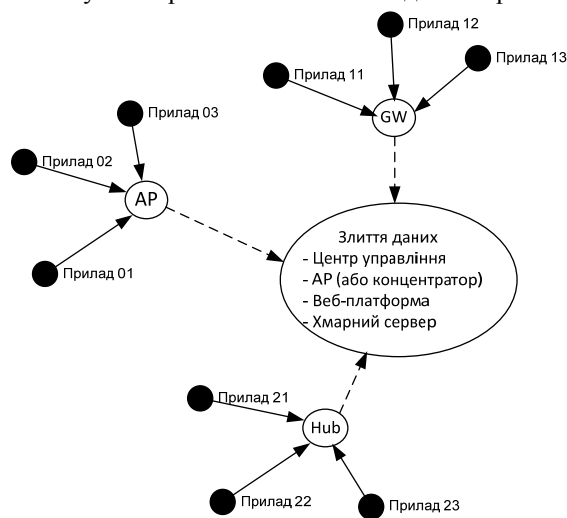


Рис.1 Приклад взаємодії різних IoT платформ (адаптовано з [2])

За умов, коли кожна платформа IoT має типову структуру, що складається з кінцевого пристрою, концентратора і центру злиття, можливо розробити єдину технологію обробки і передачі даних. Так, у схемі рис. 1. кожен кінцевий пристрій фіксує інформацію відповідно до власних цілей, концентратор (Hub) відповідає за збір даних з багатьох пристроїв і перенаправляє його в центр злиття. Нарешті, всі дані передаються до центрів злиття, які виконують їх обробку, управління та аналіз. У середній точці концентратори можуть діяти по-різному відносно платформ IoT, наприклад, або в якості точки доступу (access point, AP), або в якості шлюзу (gateway, GW). Загальним завданням кінцевого вузла IoT є передача даних, що зчитуються, до конкретного вузла або центру злиття; однак, питання як ефективно збирати, зберігати і передавати дані з великої кількості вузлів-джерел, все ще залишається проблемою.

Для вирішення цієї проблеми можливо використовувати моделі компресійного вимірювання (Compressive Sensing, CS), запропоновані в [2]. Компресійне вимірювання – це технологія, що дозволяє проводити попередню вибірку даних зі швидкістю, меншою за частоту дискретизації Найквіста [3, 4].

Теорія CS стверджує, що якщо сигнал є розрідженим у області перетворення, то він може бути реконструйований з невеликого набору лінійних вимірювань з використанням алгоритмів спрощеної оптимізації. Передбачається, що кожен вузол отримує самостійно й ідентично розподілені (i.i.d.) сигнали. У цьому випадку компресійне вимірювання може використовуватися для ефективного зменшення частоти дискретизації без виродження продуктивності відновлення. Так, к-стиснений сигнал $x \in R^n$ може бути повністю

описаний k ненульовими компонентами. x може бути відібрано з диверсифікуючою матрицею і можна отримати вектор вимірювання y . Процес вибірки можна описати наступною моделлю:

$$y = Ax + \delta,$$

де якій A позначає матрицю вимірювання розміром $m \times n$, δ - шум.

У мережах IoT вимірювання y можна представити як:

$$y = [y_1, \dots, y_m]^T = \sum_{j=1}^n A_{i,j} x_j,$$

де y_m можна представити у вигляді лінійної комбінації малорозмірного сигналу x_i .

Кожен вузол може обчислювати x_j , помноживши відповідний елемент матриці $A_{i,j}$, який можна побудувати, вибравши записи як i.i.d. реалізацій з деякого розподілу ймовірностей [5].

Потім, рандомізовані значення можуть використовуватися для агрегації $A_{i,j} x_j$ в центрі злиття. Таким чином, значення y стає доступним у центрі злиття даних.

Враховуючи, що мережа з n вузлами при розгашуванні $\{p_i\}$, $i = 1, \dots, n$ здійснює моніторинг декількох подій, припустимо, що вузли $N_a(t)$ знаходяться в активному режимі, а $N_s(t)$ - у сплячому режимі в момент часу t . Нехай x_i позначає вихідне значення при p_i . Тоді вимір y_i непарного вузла і може бути представлений як

$$y_i = \sum_{j=1}^n A_{j,i} x_j + \delta_i,$$

де $A_{i,j} = A_{i,j}$ - вплив цієї події на точку сенсора p_i , а δ_i - випадковий шум вимірювання нульового середнього. Тут x є розрідженим, а $A_{i,j}$ визначається під час розгортання мережі.

Припустимо, що вплив $A_{i,j} = 0$, якщо відстань від j до i більше, ніж діапазон зв'язку. Тоді вимірювання y_i можна визначити наступним чином:

$$y_i = x_i + \sum_{j=1}^n A_{j,i} x_j + \delta_i.$$

Тоді, згідно [2], для активних вузлів y_a мережі маємо:

$$y_a = MAx + \delta_a,$$

де A - матриця розміром $n \times n$, де (i, j) -й елемент є значенням $A_{i,j}$, M - матриця вимірювань розміром $m \times n$, яка вибирає m рядків з A відповідних активним

датчикам, y_a і δ_a - відповідно вектори вимірювання і шуму розміром $m \times 1$.

Якщо деякі пристрої IoT в мережі мають більше значення, ніж інші, центр злиття даних може врахувати це значення при реконструкції переданих даних, шляхом додавання до базової моделі вагових векторів.

До переваг моделей компресійного вимірювання можна віднести наступні: кількість зразків, що генеруються кожним вузлом, може бути значно зменшено без втрати точності відновлення; що в свою чергу може призвести до значного скорочення комунікацій в мережах; вартість обчислень на вузлах також може бути зменшена.

Висновки. Враховуючи позитивний досвід використання моделей CS, подальші дослідження будуть направлені на пошук найкращого в сенсі точності та обчислювальної складності методу злиття даних та розрахунок ефективності стиснення даних моніторингу водних об'єктів в різних IoT платформах.

Література

1. Smart Sensors for Real-time water quality monitoring / Mukhopadhyay S.C., Mason A. (Eds.) – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
2. Lee H. A Compressive Sensing-based Data Processing Method for Massive IoT Environments / H. Lee, N. Lee // IEEE Conference ICTC. – 2016. – pp. 1242-1246.
3. Donoho D.L. Compressed sensing / D.L. Donoho // IEEE Trans. Inform. Theory. – 2006. – vol. 52, no. 4. – pp. 1289 – 1306.
4. Candès E.J. Compressive sensing / E. J. Candès // International Congress of Mathematicians. – 2006. – vol. 3. – pp. 1433 – 1452.
5. Ji Y. Compressed sensing based multi-user detection with modified sphere detection in machine-to machine communications / Y. Ji, C. Bockelmann, A. Dekorsy // International ITG Conference on Systems, Communications and Coding. – 2015. – pp. 1-6.

References

1. Smart Sensors for Real-time water quality monitoring / Mukhopadhyay S.C., Mason A. (Eds.) – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
2. Lee H. A Compressive Sensing-based Data Processing Method for Massive IoT Environments / H. Lee, N. Lee // IEEE Conference ICTC. – 2016. – pp. 1242-1246.
3. Donoho D.L. Compressed sensing / D.L. Donoho // IEEE Trans. Inform. Theory. – 2006. – vol. 52, no. 4. – pp. 1289 – 1306.
4. Candès E.J. Compressive sensing / E. J. Candès // International Congress of Mathematicians. – 2006. – vol. 3. – pp. 1433 – 1452.
5. Ji Y. Compressed sensing based multi-user detection with modified sphere detection in machine-to machine communications / Y. Ji, C. Bockelmann, A. Dekorsy // International ITG Conference on Systems, Communications and Coding. – 2015. – pp. 1-6.

Критская Я.А., Скарга-Бандурова И.С., Топчий А.О. Методы и модели сбора и обработки данных в системах мониторинга водных объектов основанных на IoT

В статье представлен обзор существующих и перспективных методов онлайн мониторинга загрязняющих веществ водных объектов, основанных на использовании технологии интернета вещей (IoT). Проанализированы средства сбора данных. Для решения проблемы эффективного сбора, хранения и передачи данных с большого количества узлов-источников предлагается использование моделей компрессионного измерения, позволяющие использовать априорную информацию в условиях нестабильности данных в сетях.

Ключевые слова: данные, водный объект, интернет вещей, IoT, компрессионные измерения, модель.

Krytska Ya.O., Skarga-Bandurova I.S., Topchii A.O. Methods and models for data acquisition and processing in water monitoring systems based on IoT

The paper presents an overview of existing and promising online methods for monitoring polluting substances of water bodies based on the use of Internet of Things (IoT) technology. Analyzed the means of data collection. To solve

the problem of efficiently collecting, storing and transmitting data from a large number of source nodes, it is proposed to use compressive sensing models that allow the use of a priori information in conditions of data instability in networks.

Keywords: data, water body, Internet of things, IoT, compressive sensing, model

Критська Яна Олександрівна аспірант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: kritskayana@gmail.com

Скарга-Бандурова Інна Сергіївна, д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga-bandurova@snu.edu.ua

Топчій Анастасія Олександрівна магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: nas51ti@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 02.10.2018