

## ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

**Abstract.** The article describes the classification of optimization of wireless sensor networks monitoring air. Identified and analyzed the characteristics of their applications.

**Вступ.** Зростання технічного потенціалу людства призводить до того, що моніторинг та попередження забруднення атмосферного повітря стали обов'язковою частиною природоохоронної діяльності всіх розвинених держав. В рамках 7-ї Рамкової програми розробляються заходи щодо формування комплексних мереж моніторингу стану атмосферного повітря (МСАП) з використанням інформаційних можливостей наземних і космічних систем спостереження, результатів моделювання переносу атмосферних домішок, координованої роботи станцій спостережень в глобальному масштабі.

Вивчення світового досвіду свідчить про ефективність та перспективність сенсорних мереж як аналізаторів якості повітряного середовища. В Україні така система МСАП допоможе вирішити проблеми, що склалися у цій галузі, покращити технічне оснащення моніторингу та підвищити його оперативність.

**Сенсор** — конструктивна сукупність одного або декількох первинних вимірювальних перетворювачів величини, що вимірюється і контролюється, у вихідний сигнал для дистанційної передачі та використання в системах управління і має нормовані метрологічні характеристики. Сенсори є елементом технічних систем, призначених для вимірювання, сигналізації, регулювання, управління приладами і процесами. Сенсори перетворюють величину, яка контролюється (тиск, температура, концентрація забруднення, частота, швидкість, переміщення і т.д.) в сигнал (електричний, оптичний, пневматичний), зручний для вимірювання, передачі, перетворення, зберігання і реєстрації інформації про стан об'єкта або середовища вимірювання.

Загальна архітектура сенсора згідно з [7] представлена на рис. 1.

Оскільки забруднення повітря може бути в будь-якому середовищі, у тому числі на вулиці, в приміщеннях шкіл, офісів, будинків, станцій метро, шахтах і т.д. Звичайний підходи моніторингу, засновані на газовій хроматографії і пасивні методи відбору проб обмежені з точки зору їх вартості установки, часу і розмірів. Таким чином, мережа МСАП повинна бути просторово гнучкою і виконувати всі необхідні функції щодо спостереження за якістю повітря в досліджуваному районі.

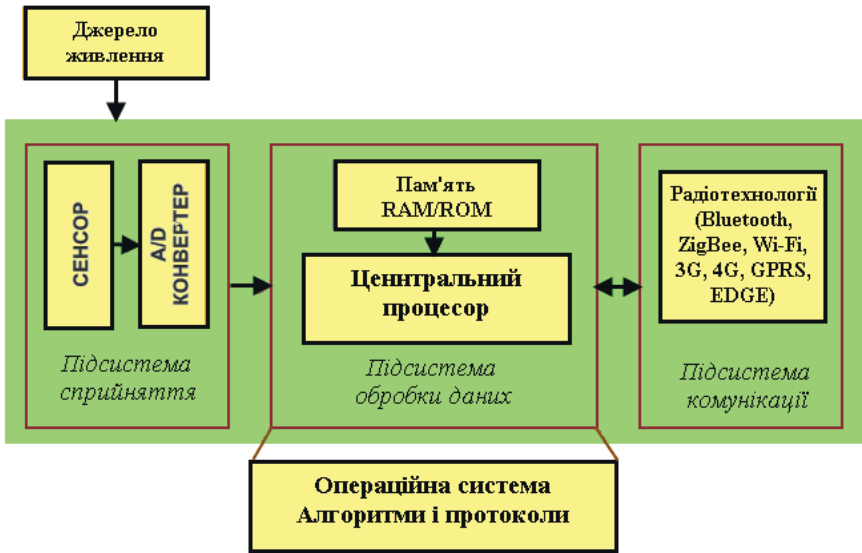


Рис. 1. Загальна архітектура сенсора

**Поняття «розумного міста».** В [9] зазначається, що одна з глобальних тенденцій, які мають місце в нашій цивілізації - загальна і поголовна урбанізація. Згідно з прогнозами, двоє з трьох народжених в найближчі 30 років будуть жити в містах. Природно, будуть збільшуватися і самі міста: до нинішніх 500 «мільйонників» за 20 наступних років додадуться ще 200. Ефективно управляти мегаполісом та зробити його максимально зручним для проживання пропонується за допомогою цифрових технологій. Таким чином з'явилося поняття «розумного міста». Розглянемо це поняття, яким його уявляє компанія Intel.

Одна з головних особливостей «розумного міста» - повсюдне використання сенсорів всього (рис. 2). Ось їх основні різновиди:

- сенсори в приміщеннях - руху, обсягу;
- сенсори навколишнього середовища - температури, швидкості вітру, задимленості, вмісту забруднюючих речовин у повітрі;
- сенсори у транспортних засобах - місця розташування та прискорення;
- сенсори на критично важливих спорудах - переміщення, вібрації.

Зміниться і сама ідеологія використання сенсорів. На сьогодні їх роль здебільшого пасивна: покази просто зберігаються або в кращому випадку показуються в режимі реального часу. У місті майбутнього сенсорні стануть основою активних систем керування - це стосується не тільки надзвичайних ситуацій, але і повсякденного життя. Наприклад, погіршення якості води в якомусь водозабірнику може викликати автоматичне його відключення за наявності достатнього резерву.

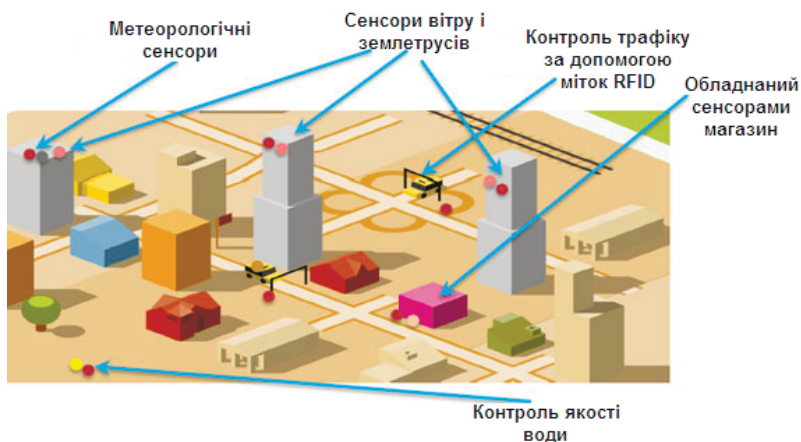


Рис. 2. Схема розташування сенсорів в місті

Окрема тема і «головний біль» сучасних мегаполісів - автомобільний транспорт та пробки. Нагальність проблеми спонукає використовувати системи контролю трафіку вже зараз. Конструктори «розумного міста» пов'язують свої надії з активними мітками RFID. Оснащення мітками кожного автомобіля в місті дозволить не просто спостерігати за рухом, але мати дані по кожному рухомому транспортному засобі. Природно, збільшиться і точність прогнозів, і набір параметрів, за якими ведеться спостереження. При цьому стратегія, запропонована Intel, передбачає максимальну відкритість збереженої інформації для різного роду додатків, як муніципальних, так і персональних, що полегшують життя його мешканцям.

В багатьох роботах пропонуються схожі архітектури безпроводних сенсорних екологічних мереж (БСЕМ). Наприклад архітектура (рис. 3), що запропонована в роботі [1], відзначаються дві основні частини: інтерфейс автоматичної системи контролю та серверної бази даних. Інтерфейс системи автоматичного контролю використовуються БСЕМ в якості своєї основної технології, що супроводжується технологією Глобальної системи мобільного зв'язку (GSM).

Дана система моніторингу може отримувати та передавати метеорологічні параметри та дані щодо забруднення повітря. Вона включає в себе шлюз і бездротові вузли датчика (сенсорні вузли). Шлюз використовується для управління сенсорними вузлами, збирає дані з вузлів, і передає їх в базу даних через службу коротких повідомлень через GSM. Шлюз, з іншого боку, включає в себе модуль метеостанції, яка забезпечує отримання різних метеорологічних параметрів, таких як температура, вологість, атмосферний тиск, опади, швидкість вітру і напрямок вітру.

**Мережа моніторингу стану атмосферного повітря** є єдиним експериментальним засобом оцінки фактичного стану забруднення

атмосферного повітря і обґрунтування можливості застосування математичних моделей розрахунку розсіювання домішок в атмосфері. Таким чином, завданнями мереж МСАП згідно [8, 10] є:

- підвищення ефективності, точності, достовірності, надійності і вірогідності даних спостережень;
- впровадження нових методів багатокомпонентного аналізу домішок в атмосфері й у пилогазоповітряних викидах техногенних джерел;
- досягнення оптимального співвідношення використовуваних у різних містах і населених пунктах методів ручного відбору й аналізу проб повітря і напівавтоматичних методів та підвищення автоматизації процесу вимірювання;
- підвищення оперативності збору, обробки, аналізу, передачі і використання даних;
- спостереження з метою контролю і регулювання рівня забруднення атмосферного повітря;
- встановлення тенденцій і причин зміни рівня забруднення атмосферного повітря.

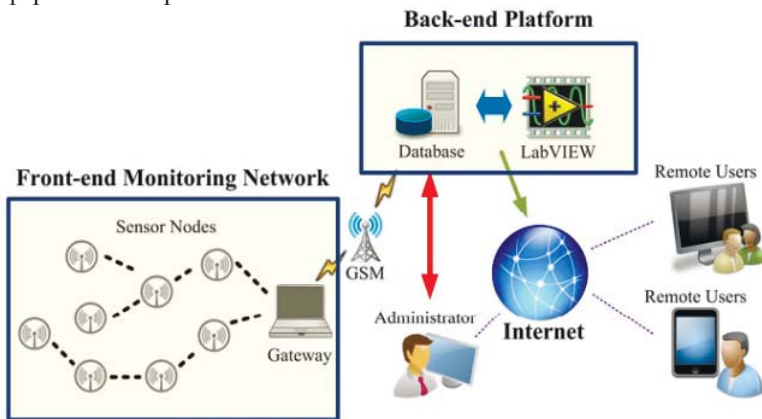


Рис. 3. Архітектура БСЕМ [1]

Існуюча мережа МСАП у силу різних причин не здатна виконати ці вимоги, тому з урахуванням даних комплексного обстеження стану забруднення атмосферного повітря на території промислової зони, населеного пункту, регіону тощо повинна розроблятися програма оптимізації мережі МСАП.

**Загальна постановка задачі оптимізації мережі МСАП.** В загальному випадку вирішення задачі оптимізації мережі МСАП повинно відповісти на запитання: де і скільки вузлів сенсорів необхідно встановити, щоб отримана мережа МСАП відповідала висунутим до неї вимогам.

Таким чином пропонується наступна *загальна постановка задачі*

*оптимізації мережі МСАП*: на заданій території  $B$ , що розбита на квадрати фіксованого розміру, та заданій множині рухомих об'єктів  $M$  (тролейбусів, трамваїв, потягів тощо, на яких можливо встановлення вузлів сенсорів) з їх маршрутами територією  $B$  розмістити деяку кількість вузлів сенсорів ( $N_B$  та  $N_M$  відповідно) з врахуванням різного роду обмежень так, щоб утворена таким чином мережі МСАП відповідала одному ( $F$ ) чи декільком ( $F_1, F_2, \dots$ ) критеріям оптимальності.

Найчастіше, при цьому робляться наступні припущення:

- 1) всі точки квадратів території  $B$  та рухомих об'єктів  $M$  є рівноцінними щодо розміщення вузлів сенсорів;
- 2) їх центри використовуються в якості розрахункових точок;
- 3) вузли сенсорів однієї мережі МСАП вважаються ідентичними.

**Територія, яку повинна охопити мережа МСАП**, може істотно змінюватись в розмірах. Як відомо, екологічний моніторинг здійснюється на чотирьох рівнях: 1) локальному - на території окремих об'єктів (підприємств), міст, ділянках ландшафтів; 2) регіональному – в межах адміністративно-територіальних одиниць, на територіях економічних і природних регіонів; 3) національному – на території країни в цілому; 4) глобальному – моніторинг за всією земною кулею. Таким чином задачі оптимізації мереж МСАП можна розділити за відповідними рівнями. Разом з тим, область оптимізації може бути опуклою або не опуклою (крім того, у випадку оптимізації мережі МСАП для декількох міст одночасно, навіть незв'язною).

Загалом описати територію  $B$  можна за допомогою прямокутної матриці  $\{b_{ij}\}$  де:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо квадрат } (i, j) \text{ належить території } B \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases},$$

де:  $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, m \times n$  – розмірність матриці  $\{b_{ij}\}$  після розбиття досліджуваної території на  $m \times n$  квадратів.

Після цього вирішення задачі оптимізації мережі МСАП можна привести до знаходження матриць  $X^B$  та  $X^M$ , таких що:

$$x_{ij}^B = \begin{cases} 1, & \text{якщо в квадрат } (i, j) \text{ встановлюється сенсорний вузол} \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

та

$$x_i^M = \begin{cases} 1, & \text{якщо на } i\text{-тий рухомий об'єкт встановлюється сенсорний вузол} \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

Таким чином отримаємо, що загальна кількість ( $N_Z$ ) встановлених вузлів сенсорів рівна:

$$N_Z = N_B + N_M = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^B + \sum_{i=1}^{|M|} x_i^M$$

де:  $|M|$  – потужність (кількість елементів) множини  $M$ .

Таким чином, класифікація задач оптимізації мереж МСАП за характеристиками відповідної території здійснюється за масштабами, опуклістю та зв'язністю області оптимізації.

**Критерії оптимальності мережі МСАП** можуть бути найрізноманітнішими. Проте найчастіше використовуються:

- 1) економічні (мінімальна вартість мережі, мінімальна сума збитків від неточності отриманої інформації тощо) [5 та ін.];
- 2) статистичні - вимога мінімуму середньої квадратичної помилки відновлення значення концентрації забруднюючої речовини в певній точці простору і в певний момент часу [6 та ін.];
- 3) комплексні (інформаційна корисність, інформативність тощо) [2, 4 та ін.].

Крім того, задача оптимізації мереж МСАП може бути одно- та багатокритеріальною. Таким чином, класифікація задач оптимізації мереж МСАП за критеріями оптимальності здійснюється за їх кількістю і виглядом.

**Кількість вузлів сенсорів ( $N_Z$ ) мережі МСАП** може бути:

- 1) точно задана наперед:  
$$N_Z = N;$$
- 2) бути менше-рівне заданого числа:  
$$N_Z \leq N;$$
- 3) бути більше-рівне заданого числа:  
$$N_Z \geq N;$$
- 4) лежати в певному інтервалі (поєднання випадків 2 і 3);
- 5) невідомою.

де:  $N$  – наперед задане число вузлів сенсорів.

У перших чотирьох випадках в математичну постановку задачі просто додаються відповідні обмеження. Щодо п'ятого випадку, коли  $N$  є невідомим, то можливі наступні випадки:

1)  $N$  визначається до початку вирішення задачі оптимізації мережі МСАП:

$$N = f(g_1^B, g_2^B, \dots, g_p^B)$$

де:  $g_i^B$  – деякий параметр (характеристика) території  $B$  (наприклад, населення, площа, параметри існуючої мережі, рівень забруднення, метеорологічні параметри тощо);  $p$  – кількість таких параметрів;  $f$  – деяка функція, що описує залежність між необхідною кількістю ( $N$ ) вузлів сенсорів

та параметрами території  $B$ ;

2)  $N$  визначається під час вирішення задачі оптимізації мережі МСАП за наявності економічних обмежень щодо вартості побудови та/або функціонування мережі;

3)  $N$  визначається під час вирішення задачі оптимізації мережі МСАП за наявності відповідного критерію (наприклад, подальше збільшення  $N$  або не призводить, або майже не призводить до підвищення ефективності мережі тощо);

4)  $N$  визначається після вирішення задачі оптимізації мережі МСАП, коли для спроектованої мережі виконуються висунуті критерії оптимальності.

Крім того, можуть висуватися вимоги щодо кількості вузлів сенсорів, які розміщуються стаціонарно та на рухомих об'єктах ( $N_B$  та  $N_M$  відповідно).

Таким чином, класифікація задач оптимізації мереж МСАП за заданістю кількості вузлів сенсорів здійснюється за наявністю чи відсутністю таких даних та видом знаходження  $N$  в даному випадку.

**Тип мережі МСАП**, що проектується (оптимізується), визначається наявністю (відсутністю) вузлів сенсорів, які розміщуються стаціонарно та на рухомих об'єктах відповідно:

1) стаціонарна мережа МСАП:

$$\begin{cases} N_Z = N_B \\ N_M = 0 \end{cases}$$

2) пересувна мережа МСАП:

$$\begin{cases} N_Z = N_M \\ N_B = 0 \end{cases}$$

3) змішана (гібридна) мережа МСАП:

$$\begin{cases} N_Z = N_B + N_M \\ N_M > 0 \\ N_B > 0 \end{cases}$$

Крім того, при розширенні діючої мережі МСАП необхідно враховувати її параметри, можливість перенесення її вузлів тощо.

Таким чином, класифікація задач оптимізації мереж МСАП також здійснюється за типом мережі, наявністю існуючої мережі та її параметрами.

**Обмеження в задачі оптимізації мережі МСАП** можуть бути відсутніми (тоді маємо задачу безумовної оптимізації), або можуть бути в наявності (тоді маємо задачу умовної оптимізації) наступні обмеження:

- 1) щодо кількості вузлів сенсорів (про що описано вище);
- 2) щодо вартості побудови та/або функціонування мережі;
- 3) щодо мінімально (або максимально) можливої відстані між вузлами;
- 4) щодо точності даних моніторингу та моделювання на їх основі тощо.

Таким чином, задачі оптимізації мереж МСАП за наявністю (відсутністю) обмежень поділяються на задачі умовної та безумовної оптимізації.

**Вигляд шуканих величин задач оптимізації мережі МСАП** також впливає на їх класифікацію. В даній роботі матриці  $X^B$  та  $X^M$  (і як наслідок  $N_Z$ ) пропонується в якості невідомих змінних: тому така задача є детермінованою бінарною. Проте можливі випадки необхідності приведення задач оптимізації мережі МСАП до задач неперервної оптимізації.

Таким чином, задачі оптимізації мереж МСАП за виглядом шуканих величин поділяються на задачі детерміновані та неперервної оптимізації тощо.

**Функціональні особливості критеріїв та обмежень.** Функція мети, що описує відповідний критерій оптимальності (або їх набір), та обмеження в задачі можуть бути лінійними чи нелінійними, опуклими чи ні тощо. Таким чином задачі оптимізації мереж МСАП поділяються лінійні та нелінійні тощо.

Найбільш складним для вирішення є випадок, коли задача оптимізації мережі МСАП є:

- 1) багатокритеріальною;
- 2) область оптимізації не опукла або незв'язна;
- 3) кількість вузлів сенсорів ( $N_Z$ ) мережі МСАП апіорі невідома;
- 4) оптимізується змішана (гібридна) мережа МСАП за наявності існуючої мережі, частину якої можна перенести, а частину – ні;
- 5) в задачі присутні декілька обмежень, тобто вона є задачею умовної оптимізації;
- 6) обмеження або критерії є нелінійними, не опуклими і т.д., тобто вона є задачею нелінійного не опуклого програмування тощо.

**Висновки.** Ефективно управляти мегаполісом та зробити його максимально зручним для проживання пропонується за допомогою цифрових технологій, зокрема за допомогою безпроводних сенсорних мереж. В роботі показано ряд прикладів їх використання в світі, що є дуже перспективними і для України. Визначено, що питання проектування та оптимізації безпроводних сенсорних мереж залишаються актуальними в Україні, а їх вирішення в перспективі дозволить створити сучасні безпроводні сенсорні мережі в Україні. В загальному випадку вирішення задачі оптимізації мережі МСАП повинно відповідати на запитання: де і скільки вузлів сенсорів необхідно встановити, щоб отримана мережа МСАП відповідала висуnutим до неї вимогам. Класифікація задач оптимізації мереж МСАП може проводитись за відповідною областю оптимізації, заданістю кількості вузлів сенсорів, типом мережі тощо. Класифікація задач оптимізації мереж МСАП покликана спростити вибір необхідної математичної постановки відповідної задачі оптимізації та знайти методи для її вирішення.



1. *Jen-Hao Liu*. Developed Urban Air Quality Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks / *Jen-Hao Liu, Yu-Fan Chen, Tzu-Shiang Lin, Da-Wei Lai, Tzai-Hung Wen, Chih-Hong Sun, Jehn-Yih Juang, Joe-Air Jiang* // 2011 Fifth International Conference on Sensing Technology. – pp. 549-554.
2. *Артемчук В.О.* Математичні та комп'ютерні засоби для вирішення задачі розміщення пунктів спостережень мережі моніторингу стану атмосферного повітря [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : спец. 01.05.02 "Математичне моделювання та обчислювальні методи" / В.О. Артемчук. – К., 2011. – 178 с.
3. В Кривом Роге создадут систему мониторинга экологической ситуации [Электронный ресурс] / Веб-сайт Podrobnosti.ua — дата доступа 21.01.2015 – Режим доступа : <http://podrobnosti.ua/accidents/2012/12/26/878967.html> — Загол. з екрану.
4. *Верлан, В. А.* Оптимизация размещения сети постов мониторинга за загрязнением атмосферы в промышленном городе [Текст] : дис. ... канд. геогр. наук / В.А. Верлан. — О. – 1999. — 167 с.
5. *Гандин Л.С.* Об экономическом подходе к планированию сети метеорологических станций / Гандин Л.С., Каган Р.Л. // Труды ГГО. – 1967. – Вып. 208. – С.120–131.
6. *Дроздов О.А.* Теория интерполяции в стохастическом поле метеорологических элементов и её применение к вопросам метеорологических карт и рационализации сети / Дроздов О.А., Шепелевский А.П. // Труды НИУ. – 1964. – сер. 1. – Вып.13. – С.65–115.
7. *Кучерявый Е.* Беспроводные сенсорные сети и их роль в прогрессивном обществе XXI века // Первый профессиональный журнал для специалистов в области телекоммуникаций и информационных технологий "Информационные телекоммуникационные сети", № 2, 2006. С. 36-45.
8. Методичні рекомендації з підготовки регіональних та загальнодержавної програм моніторингу довкілля (затверджено Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України 24.12.2001 р. N487)
9. От «каменных джунглей» к «умному городу» [Электронный ресурс] / Веб-сайт Habrahabr.ru — дата доступа 21.01.2015 – Режим доступа : <http://habrahabr.ru/company/intel/blog/167295/> — Загол. з екрану.
10. *Рибалов О.О.* Основи моніторингу екологічного простору: Навчальний посібник. - Суми: Вид-во СумДУ, 2007. - 240 с.

*Поступила 8.09.2014р.*

УДК 681.142 + 519.4

О. Д. Глухов

### **ПРО ЧИСЛО МІНІМАЛЬНИХ РОЗРІЗІВ ГРАФА**

In this paper, we give some estimates of the number of minimum cuts of connected graph.

© О. Д. Глухов

35