УДК 519.6 : 504.064

В.О. Артемчук, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Abstract. The article describes the most famous of the world's existing wireless sensor networks monitoring air. Identified and analyzed their main characteristics. Shown examples of wireless sensor networks for other practical problems.

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.

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 [12]. Крім того, оптимальні місця встановлення сенсорів такої мережі можуть бути визначені для кожної конкретної ситуації (в тому числі і надзвичайної), що дозволяє отримати точну оцінку якості повітря на досліджуваній території.

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.

Безпровідні сенсорні екологічні мережі (БСЕМ). Останні технологічні розробки в мініатюризації електроніки і бездротових технологій зв'язку привели до появи багатьох БСЕМ, які покликані значно підвищити рівень моніторингу навколишнього природного середовища. Ці системи полегшують вивчення фундаментальних процесів у навколишньому середовищі, а також надають інформацію щодо різних життєво важливих параметрів, що дозволяє використовувати їх для попередження небезпеки (наприклад, для попередження повеней).

Безпровідна сенсорна екологічна мережа включає в себе безліч сенсорів

(датчиків) і їх вузлів та системи зв’язку, яка дозволяє передавити отримані дані до сервера мережі. Розвиток БСЕМ викликаний тим, що прокладати кабелі часто економічно невигідно і не завжди можливо, до того ж вони можуть порушити навколишнє середовище, де проводиться моніторинг.

Різні типи даних збираються за допомогою БСЕМ. Це і конкретні екологічні параметри, а також загальні дані, такі як метеорологічні або дані системи глобального позиціонування (GPS). Ці дані можуть бути в різних формах, цифрові й аналогові, просторові і часові тощо.

Отримані таким чином дані можуть бути переглянуті і проаналізовані за допомогою географічних інформаційних систем (ГІС), що дозволяють поєднати їх з супутниковими зображеннями і/або картами, і опублікувати через Інтернет, щоб надати користувачам простий доступ до інформації. БСЕМ відрізняються за своїми масштабами і функціями (див. рис. 1). На основі [1] зробимо їх коротких огляд.

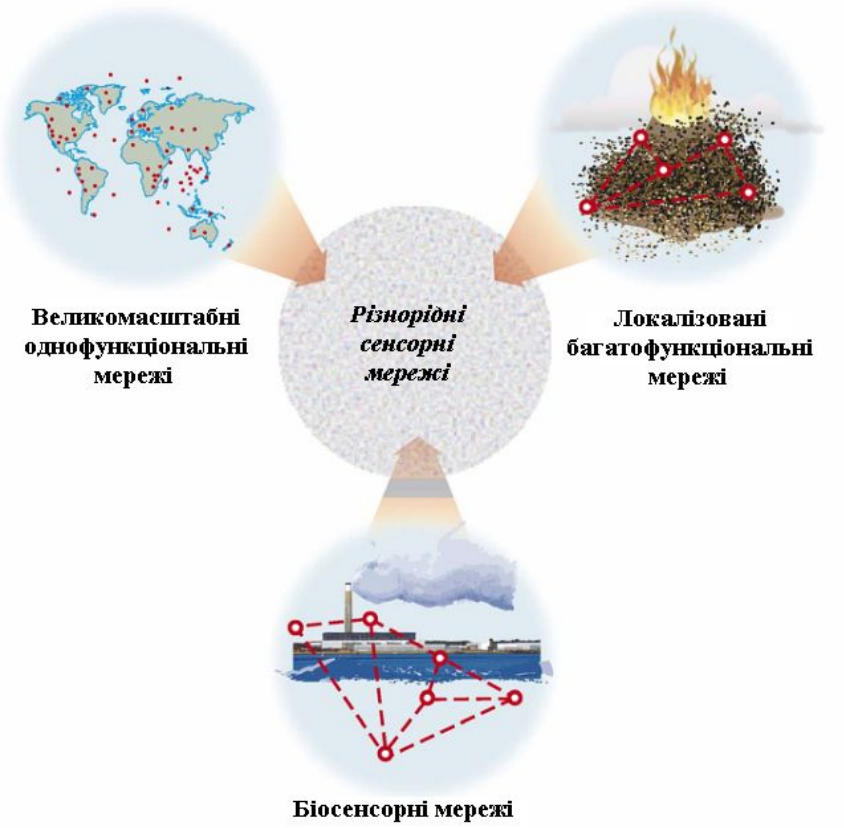

Рис. 1. Схематична діаграма, що ілюструє різні типи БСЕМ

Великомасштабні однофункціональні мережі. Вони, як правило, охоплюють великі географічні райони. Проведення вимірювань здійснюється для однієї мети. Вони включають в себе вузли, які як правило проводять вимірювання однієї або кількох змінних. Прикладами таких мереж є Глобальна сейсмологічна мережа (Global Seismographic Network, www.iris.edu), Автоматизована мережа екологічного моніторингу Грузії (Georgia Automated Environmental Monitoring Network, www.georgiaweather.net)**,** що є типовою мережею метеорологічних датчиків, Тропічний атмосферно-океанічний проект (Tropical Atmosphere Ocean Project, www.pmel.noaa.gov/tao/index.shtml) тощо.

Локалізовані багатофункціональні мережі. Такі мережі зазвичай містять менше сенсорних вузлів для моніторингу навколишнього середовища. Вузли можуть бути призначені для вимірювання відносно загальних параметрів навколишнього середовища (тиск, температура, вологість, швидкість і напрям вітру тощо), які можуть бути використані для різних цілей, проте більш ймовірно, що вони будуть націлені на вимірювання спеціальних конкретних параметрів (наприклад концентрація в повітрі CO, CO_2, O_3 тощо).

Як правило, ці БСЕМ призначені для вимірювання екологічних та метеорологічних властивостей. В галузі моніторингу водних об'єктів прикладом таких БСЕМ є Мережа моніторингу якості води Kings (King County Lake Data, www.dnr.metrokc.gov/wlr/waterres/lakedata/index.htm) та Проект поліпшення озера Онондага (Onondaga Lake Improvement Program, www.lake.onondaga.ny.us/ol33.htm).

Більш складні сенсорні мережі були розроблені Центром для вбудованих мережа зондування в Університеті Каліфорнії, яка має більше восьми проектів у різних середовищах (www.cens.ucla.edu), та в Лабораторії реактивного руху НАСА [2, 3]. Вузли даних БСЕМ призначені для вимірювання загальних параметрів, таких як надходження сонячної радіації, температури і вологості повітря, температури і вологості ґрунту тощо. В основному вони встановлені в межах невеликої площі (до 2 км^2). Однією з головних переваг таких БСЕМ є відносна простота установки і відносна дешевизна вузлів датчиків, які засновані на комерційно доступних мікросенсорах (www.xbow.com). Автори [2, 3] описують, як дані збираються на одному вузлі і спільно з іншими, ці вузли можуть реагувати і змінювати свою поведінку на основі цих загальних даних. Це вимагає складних мережевих протоколів, щоб вузли зв'язувалися один із одним і з базовими станціями [4].

Подібні системи використовуються для контролю вологості, вентиляції, кондиціонування повітря в будинках (XYZ On A Chip**,** www.cbe.berkeley.edu/research/briefs-wirelessxyz.htm). Floodnet [5] також відноситься до даного типу БСЕМ, але призначена для отримання попереджень про повені. Приклади деяких інших систем приведено на рис. 2-4.

Біосенсорні мережі. Це порівняно новий тип БСЕМ, які відрізняється головним чином використанням біотехнології. Біосенсор складається з біологічного чутливого елементу прикріпленого до фізичного датчику, який може бути електрохімічним, оптико-електронним, оптичним або акустичним. Цей тип БСЕМ потребує нової сенсорної технології для перевірки повітря, води і ґрунту. Багато забруднюючих речовини в даний час не контролюється на місці – беруться проби на місці, які потім аналізуються в лабораторії. Біосенсори в даний час доступні для контролю біохімічної потреби в кисні [6, 7]. Oak Ridge National Laboratory (США) розробила інфрачервоний мікроспектрометр, який використовує джерело світла для виявлення певних типів сполук газів, рідин і твердих речовин, які випускають інфрачервоне випромінювання з різною довжиною хвиль [8]. Naval Research Laboratory (США) розробили волоконно-оптичні біосенсори для вимірювання концентрації вибухових речовин у навколишньому середовищі.

Різнорідні сенсорні мережі. Цей тип мереж призначений для отримання даних з джерел різних типів, описаних вище БСЕМ для моніторингу навколишнього середовища в різних масштабах. Прикладом такої мережі є Мережа спостережень зміни клімату Великобританії (UK Climate Change Network, www.ecn.ac.uk), яка побудована для довгостроковою комплексного екологічного моніторингу та науково-дослідних програм [9, 10]. З її допомогою контролюється 12 наземних і 43 прісноводних ділянок у Великобританії. У більш широкому масштабі такі мережі створені в США (National Environmental Monitoring Initiative, (www.epa.gov/cludygxb/html/choices.htm та US National Ecological Observatory Network System, www.neoninc.org/).

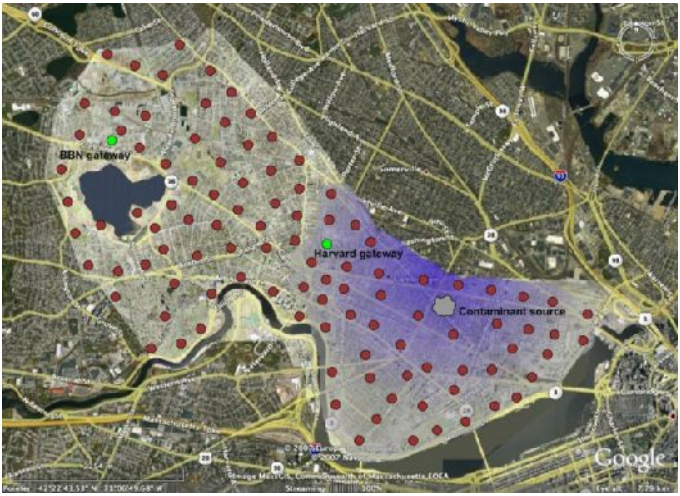

Рис. 2. БСЕМ Citysense у м. Гарварді (США)

Канали передачі даних є невід'ємною частиною мереж. Більшість систем передають свої дані за допомогою радіозв'язку та проводової мережі. Вони використовують радіо системи, супутникові телефони, мобільні телефони або короткі текстові повідомлення. При цьому часто виникають труднощі з передачею в навколишньому середовищі, наприклад, через лід, воду, ліс, будинки тощо. Крім того, більшість радіочастот, що використовуються в БСЕМ (433, 900 МГц) передають на більш короткі відстані (до 200 м), ось чому більшість сучасних бездротових сенсорних мереж знаходяться в межах 1 км площі. Деякі мережі використовують Wi-Fi (IEEE 802.11, 2,4 ГГц). Часто для побудову великих БСЕМ проводять за допомогою проміжних базових станцій (шлюзів).

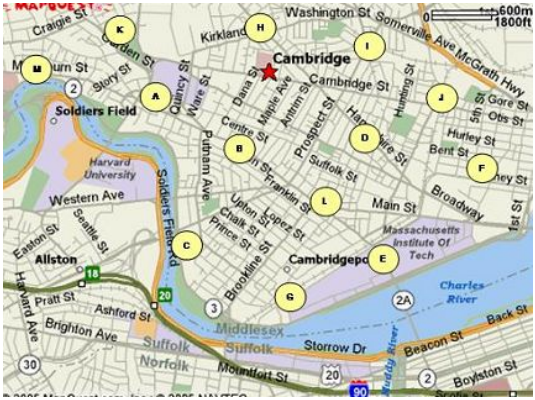

Рис. 3. Розміщення вузлів сенсорів БСЕМ в м. Кембриджі (Великобританія)

Інформаційні технології. БСЕМ стали незамінними для галузі наук про Землю, і це вимагає свого обробки отриманих від мереж даних, їх зберігання та візуалізації. За роки існування БСЕМ була отримана та збережена до БД значна кількість даних, які все частіше стають доступними через Інтернет. Однак для збору даних з різних джерел доведеться вручну відвідувати кожен сайт та використовувати конвертери для кожного набору даних, щоб отримати їх в зручному форматі. Тому бажано встановлювати стандарти в плані публікації даних, а також програмні інтерфейси для сховищ. Розвиток мови розмітки XML надав більш гнучкий спосіб для інкапсуляції і опису метадані, проблема інтеграції даних на глобальному рівні ще невирішена. GML (Geography Markup Language, www.opengis.net/gml) являє собою XML-кодування відповідно до ISO 19118 для передачі та зберігання географічної інформації відповідно до концептуальної основи моделювання, описаної в ISO 19100-серії, в тому числі і просторові, і не просторові властивості географічних об'єктів. Також при роботі з даними БСЕМ часто використовуються різні технології пошукових систем та інструментів запиту,

а також карти ГІС, і 3D візуалізація. Google Earth (www. Earth.google.com) є широко використовуваним інструментом, який де-факто може стати стандартом для візуалізації розташування сенсорних мереж та їх даних.

Рис. 3. БСЕМ у м. Тайпей (Тайвань)

Проблеми розвитку БСЕМ згідно з [1] включають:

1. Управління живленням. Для того, щоб БСЕМ працювали в автоматичному режимі без постійних замін батарей, необхідно використовувати складні методи управління живленням.

2. Зручність. Більшість сучасних БСЕМ потребує подальшого розгортання та удосконалення, підвищення юзабіліті доступу даних тощо.

3. Стандартизація. Багато БСЕМ використовують різні апаратні платформи, операційне та програмне забезпечення, тому взаємодія між ними дуже ускладнена. В майбутньому повинно бути можливим розгортання вузлів від різних виробників, але збір, збереження та візуалізації даних в єдиному порядку, що дозволить створити глобальні інформаційні системи.

4. Якість даних. Калібрування сенсора має життєво важливе значення для високої якості отриманих даних. Крім того, важливим є визначення точних просторових (географічних) координат сенсора.

5. Безпека. Деякі БСЕМ вимагають використання систем безпеки з метою запобігання фальсифікації, як на апаратному рівні, так і під час передачі та збереження даних. Хоча звичайні протоколи безпеки мережі можуть бути використані, вони часто дуже «важкі» для малопотужних пристроїв.

6. Аналіз даних і обробка результатів. Продовження зусиль по стандартизації та удосконаленню семантичної розмітки в кінцевому підсумку призведе до доступності даних, що зробить простим для користувачів аналіз даних, а також їх доступність для програмних агентів.

7. Розробка нових сенсорів (датчиків), зокрема біосенсорів. Апаратна частина сенсорів та їх вузлів постійно удосконалюється з точки зору розміру, використання живлення і стабільності. Однак мініатюризація, зниження

вартості і потужності як і раніше необхідні для новітніх біосенсорів.

Висновки. БСЕМ стали поширеною та невід'ємною частиною науки про навколишнє середовище, оскільки вчені отримали можливість спостерігати за параметрами навколишнього середовища з будь-якого місця через Інтернет. Розвиток сенсорів та БСЕМ дозволяє новий підхід до вивчення навколишнього середовища, нове методичне підґрунтя, яке концептуально розширює можливості вирішення наукових та практичних проблем. БСЕМ в поєднанні з сучасними інформаційними технологіями повинні забезпечити збір та аналіз даних на всіх необхідних рівнях (від глобального до сантиметра).

1. Jane K. Hart. Environmental Sensor Networks: A revolution in the earth system science / Jane K. Hart, Kirk Martinez // Earth-Science Reviews 78. 2006, pp. 177–191.

2. Delin K.A. The Sensor Web: a macro-instrument for coordinated sensing / Delin K.A. // Sensors 2, 2002. pp. 270-285.

3. Delin K.A. Environmental studies with the Sensor Web: principles and practice / Delin K.A., Jackson S.P., Johnson D.W., Burleigh S.C., Woodrow R.R.J., McAuley M., Dohm J.M., Ip F. and other // Sensors 5, 2005. pp. 103-117.

4. *Ganesan D.* Networking issues in wireless sensor networks / Ganesan D., Cerpa A., Ye W., Yu Y., Zhao J., Estrin D. // Journal of Parallel and Distributed Computing № 64 (7), 2004, pp. 799-814.

5. *De Roure D.* Floodnet: a new flood warning system. / De Roure D. // Royal Academy of Engineering Quarterly 23, 2005, pp. 48-51.

6. *Kim J.* Networked sensing in support of real-time parameter estimation / Kim J., Bendikov T.A., Park Y., Harmon T.C. // European Geological Society-American Geophysical Union-European Union of Geosciences Joint Assembly, 2003, April 6-11.

7. Kim M., Youn S.M., Shin S.H., Jang J.G., Han S.H., Hyun M.S. Practical field application of a novel BOD monitoring System / Kim M., Youn S.M., Shin S.H., Jang J.G., Han S.H., Hyun M.S. and other // Journal of Environmental Monitoring 5 (4), pp. 640-643.

8. *Rajic S., Datskos P.G.* MEMS based calorimetric spectroscopy for chemical detection. // NANOSPACE 2000. NASA-JSC, Houston, TX, USA.

9. *Lane A.M.J.* The U.K. Environmental change network database: an integrated information resource for long-term monitoring and research / Lane A.M.J. // Journal

of Environmental Management 51 (1), 1997. pp. 87-105.

10. *Scott W.A.* Temporal and spatial variation in carabid assemblages from the United Kingdom Environmental Change network sites / Scott W.A., Anderson R. // Biological Conservation 110, 2003. pp. 197-210.

11. CitySense: A vision for an urban-scale wireless networking testbed [Електронний ресурс] / *R. Murty, A. Gosain, M. Tierney* [et al.] – Веб-сайт Harvard School of Engineering and Applied Sciences – дата доступу 05.04.2011 – Режим доступу : http://www.seas.harvard.edu/ — Загол. з екрану.

12. *Яцишин А.В.* "Комп'ютерна система для прогнозу стану атмосфери міста" / А.В.Яцишин, І.П.Каменева, О.О.Попов, В.О. Артемчук // Організація управління в надзвичайних ситуаціях : Матеріали 11-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції, 30 вересня - 1 жовтня 2009 р. – К.: ІДУЦЗ УЦЗУ, 2009. – С. 323–325.