

6. Radu I., Vahaplar K., Stamm C., et al., Nature, **472** 205 (2011).
7. Vahaplar K. Ultrafast Path for Magnetization Reversal in Ferrimagnetic GdFeCo Films //Doctoral thesis, (2011) .
8. Ostler T.A., Barker J., Evans R.F.L., et al. //Nature Communications, **3**, 1 (2012).
9. Lichtenstein A. I.O, Katsnelson M. I., Antropov V. P., Gubanov V. A., J. Magn. Mater. **67** 65 (1987).
10. Katsnelson M. I., Lichtenstein A. I., Phys. Rev. B **61** 8906 (2000).
11. Kadanoff L. P. and Baym G., Quantum Statistical Mechanics, W. A. Benjamin, Inc., New York, 1962.
12. Schwinger J., J. Math. Phys. **2** 407 (1961).
13. Keldysh L. V., Zh. Eksp. Teor. Fiz. **47** 1515 (1964) .
14. Fransson J, Phys. Rev. B **82** 180411(R) (2010).
15. Feng Q. and Oppeneer P. M., Phys. Rev. B **86** 035107 (2012).

Поступила 11.02.2013р.

УДК 519.6 : 504.064

В.О. Артемчук, м. Київ

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Abstract. The article describes the main types of wireless sensor networks. Identified and analyzed prospects of wireless sensor networks in Ukraine.

Вступ. З підвищенням технічного потенціалу людства 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.

В останні роки з'явилася низка публікацій, присвячених створенню систем МСАП на основі безпроводних сенсорних мереж, які складаються з мініатюрних обчислювальних пристроїв – мотів, оснащених сенсорами, що можуть фіксувати як метеодані, так і концентрацій забруднюючих домішок, та надавати отриману інформації в режимі реального часу.

Аналіз світового досвіду свідчить про ефективність та перспективність сенсорних мереж як аналізаторів якості повітряного середовища. Значний інтерес при побудові бездротових сенсорних мереж МСАП в Україні

становить використання мережі громадського транспорту, рухомий склад якого останнім часом активно оснащується модулями GPS.

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.

Поняття «розумного міста». В [7] 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. 1). Ось їх основні різновиди:

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

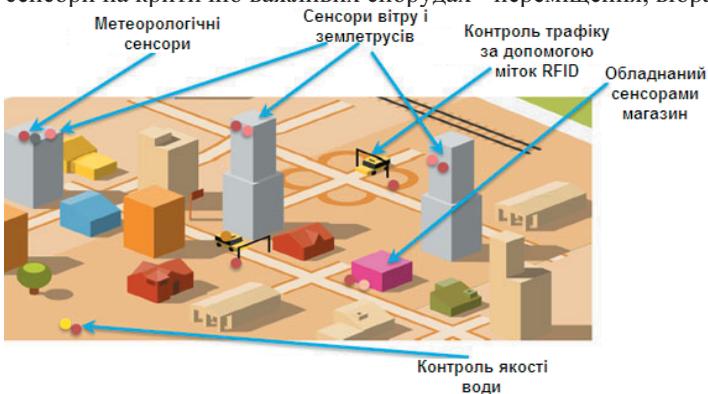


Рис. 1. Схема розташування сенсорів в місті

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 сенсори 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.

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.

Використання настільки тонких механізмів контролю вимагає великої кількості різноманітних сенсорів. Тому вони повинні бути не просто дешевими, але і максимально стандартизованими. В ідеалі у всіх сенсорів повинна бути єдина типова платформа - і вона вже створена Intel. Контролер сенсору (рис. 2) являє собою мікрокомп'ютер на базі процесора Intel Atom, оснащений інтерфейсом Wi-Fi, слотом для карти пам'яті Micro SD і портами для підключення власне сенсорів (датчиків) по протоколах UART, GPIO, I2C і іншим. Формат спілкування контролера з центром управління також максимально стандартизований, і хоча інформація від сенсорів може бути різною, її вид приблизно однаковий, що полегшує розробку єдиного рішення.

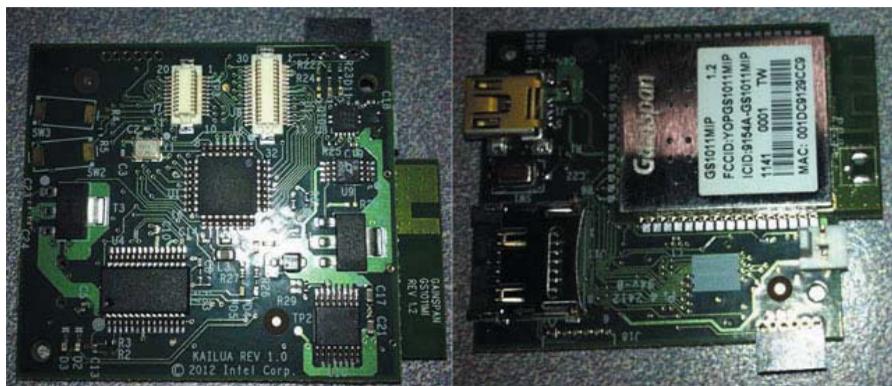


Рис. 2. Контролер сенсорів виробництва Intel

Стратегія, запропонована Intel, передбачає максимальну відкритість збереженої інформації для різного роду додатків, як муніципальних, так і персональних, що полегшують життя його мешканцям. Хмарний сервіс - мозок «розумного міста», адже там зберігається і обробляється масив даних,

отриманих від сенсорів. Було б цікаво передбачити, як вплине глобальна міська інформаційна система на життя мегаполісу і його мешканців. Абсолютно ясно, точні дані про екологічну обстановку в тому чи іншому районі вплинуть на його престижність і вартість житла там. Більш точні дані про трафік по шляху проходження дозволить точніше визначити його тривалість тощо.

Приклади реалізованих технологій «розумного міста» - з тих, що вже працюють.

1) У Бразилії ще в 2006 році прийнято постанову про обов'язкове оснащення всіх автомобілів країни RFID мітками. Інформація, що надходить від сенсорів, збирається в єдиній базі даних SYNAV (System for National Identification Automation for Vehicles, див. рис. 3).

2) Центр Дубліна недавно був оснащений комбінованими атмосферними сенсорами - вимірюється температура, напрям вітру, якість повітря тощо. Поки їх число невелике, на них система проходить тестування.

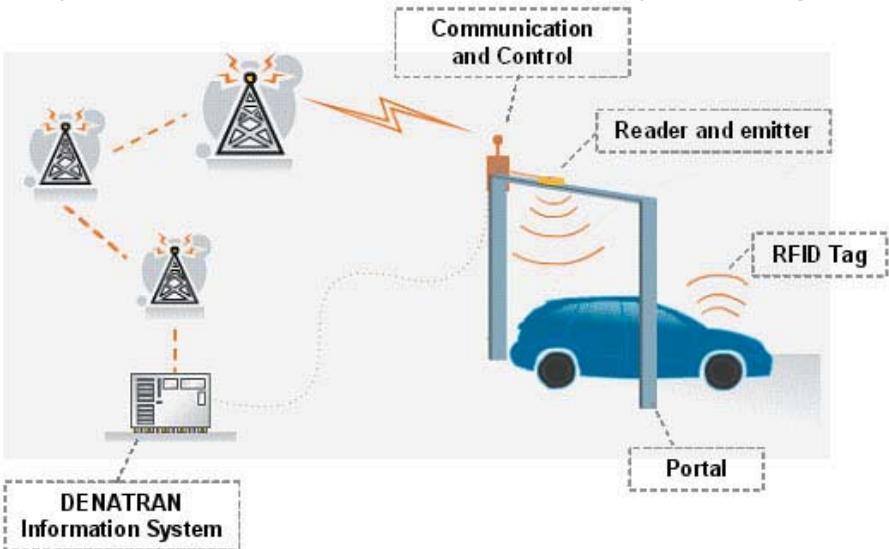


Рис. 3. Схема роботи системи SYNAV (DENATRAN - департамент транспорту Бразилії)

Журнал Capital New York опублікував цікаву статтю [1], в якій описуються всі види сенсорів, які встановлені в мегаполісі, і стверджується, що відеокamери спостереження покривають вже кожен куточок Нью-Йорку. Крім них, є ще дорожні камери, які відстежують завантаженість доріг, камери з інфрачервоними радарми для реєстрації перевищення швидкості і фотографування реєстраційних номерів, метеорологічні сенсори, акустичні сенсори, встановлені в 30 містах США, визначають координати пострілів з вогнепальної зброї і автомобільних аварій і т.д. Є і окремі приватні проекти.

Наприклад, система сенсорів на велосипедних доріжках для вивчення завантаженості велосипедних маршрутів та розробки нових (на дороги Нью-Йорку щодня виїжджає 201000 велосипедистів). Або мережа сенсорів в Washington Square Park для вивчення пішохідних маршрутів і завантаженості площі в різний час доби. Відносно новий проект - установка паркувальних сенсорів Streetline, які виглядають як білі горбики на дорозі. Ці сенсори споживають мінімум енергії (заряду вистачає на декілька років), при цьому підтримують зв'язок з сусідніми сенсорами і передають інформацію в центральну базу даних про те, зайнято місце для паркування чи ні. Завантаживши на мобільний телефон (Android, iPhone) додаток Streetline, можна в реальному часі шукати вільне місце для паркування. Якщо такі сенсори поставлять скрізь, то міська влада зможе отримувати абсолютно достовірну інформацію про завантаженість парковок в різних частинах міста. Більш того, можна динамічно змінювати вартість паркування. Наприклад, якщо вільно більше 50% місць - вартість автоматично знижується на 25%. Якщо зайнято більше 80% місць, вартість підвищується на 50% і так далі. Таким чином, ціна паркувального місця буде регулюватися ринком: підвищуватися або знижуватися до тих пір, поки попит не врівноважить пропозицію. Це добре і для міського бюджету, і для автовласників, тому що скрізь завжди будуть вільні місця. Журналісти Capital New York мріють, що коли-небудь люди сформують велику мережу сенсорів, яка може збирати дані повсюдно. Технології для цього вже є. Наприклад, французька фірма Sensaris вже поширює свої сенсори Senspods в Парижі, Сан-Франциско і Чикаго. Маленький пристрій вшивається в сумку, ремінь або браслет і цілодобово відслідковує інформацію про рівень забруднення повітря, шуму, вологості і т.д. Дані надходять по Bluetooth в мобільний додаток на смартфоні, а звіди - на загальну карту.

В роботі [6] описано організацію обласної мережі моніторингу атмосферного повітря на території Свердловської області з використанням автоматичних станцій. Автоматичні станції оснащені сучасними приладами, які в автоматичному режимі вимірюють вміст в атмосферному повітрі основних і специфічних забруднюючих речовин (оксиду і діоксиду азоту, оксиду вуглецю, діоксиду сірки, зважених частинок (пилу), аміаку), а також метеопараметри (швидкість і напрям вітру, температуру, тиск і вологість повітря). За добу робиться 72 вимірювання по кожній забруднюючій речовині. У 2011 р. на станціях було виконано 1210034 вимірювання. Це дало результати. У 2011 р. в порівнянні з 2010 р. за даними спостережень на автоматичній станції в місті Первоуральську зменшився середньорічний вміст в атмосферному повітрі діоксиду сірки, діоксиду азоту, пилу дрібнодисперсного.

Сенсори в Україні: практика. Згідно з [3] у Кривому Розі завершено перший етап реалізації проекту моніторингу екологічної ситуації. В рамках проекту створюється єдина система збору та аналізу екологічних параметрів, яка буде в реальному часі оповіщати контролюючі органи про викиди, аварії

на виробництві та інші надзвичайні ситуації, а також давати рекомендації про необхідні дії у разі виникнення таких ситуацій. В даний час це перший і єдиний в Україні проект за своєю масштабністю та значимістю для екології промислового регіону, який реалізується в три етапи: обстеження території та розрахунково-вимірювальна підготовка, проектні роботи по встановленню обладнання, обґрунтування розміщення обладнання на конкретних об'єктах, встановлення апаратури та розподіл робочих місць. Він об'єднує шість підприємств, серед яких Східний гірничо-збагачувальний комбінат (м. Жовті Води), Північний гірничо-збагачувальний комбінат (м. Кривий Ріг), Центральний гірничо-збагачувальний комбінат (м. Кривий Ріг), Шахта "Першотравнева" (м. Кривий Ріг), а також порожнечі старих шахт, які розроблялися в 50-роки (м. Кривий Ріг та передмістя). Планується, що з накопиченням бази даних система автоматично зможе прогнозувати потенційну небезпеку і ризики, що дозволить значно знизити кількість аварійних ситуацій і тяжкість їх наслідків для екології. Ініціатором проекту є управління екології Криворізького міськвиконкому. Для реалізації проекту необхідне створення складної інформаційно-аналітичної системи, яка здійснює комплексний моніторинг стану навколишнього середовища, аналіз отриманої інформації і видачу рекомендацій. Для цього потрібна установка сотень сенсорів (температури, вологості, тиску, забруднення навколишнього середовища газоподібними і дрібнодисперсними речовинами та інших параметрів), інформація з яких повинна передаватися на сервер. Після цього вона обробляється за допомогою спеціально створеного програмного забезпечення.

Сенсори в Україні: теорія. В Україні питаннями сенсорів займається багато вчених, видається науково-технічний журнал «Сенсорна електроніка і мікросистемні технології» (<http://www.semst.onu.edu.ua/ua/index.html>), проводяться однойменні конференції, проте більшість вдосконалює саме апаратну базу сенсорів, розробляють їх нові види тощо. Щодо проектування та оптимізації безпроводних сенсорних мереж, то знайдено лише декілька публікацій на цю тему.

В роботі [5] зазначається, що періодичний контроль повітряних і газових середовищ на виробництві і екологічних об'єктах здійснюється за допомогою портативних аналізаторів і мобільних хімічних лабораторій, оснащених відповідним устаткуванням для разового миттєвого або разового сорбційного пробовідбору. Забруднення ж об'єктів відбувається безперервно, носить випадковий характер і залежить від виду технологічного процесу, особливостей функціонування обладнання, кратності повітрообміну в контрольованих зонах, атмосферного переносу забруднюючих речовин (ЗР). Відбір разових проб проводиться за графіками, не пов'язаними з цими чинниками, тому відібрані проби є неінформативними: вони характеризують забруднення повітря або потоку газів тільки за період пробовідбору. Сучасним вимогам еколого-аналітичного моніторингу задовольняють способи і пристрої, засновані на безперервному автоматичному контролі газових середовищ і

періодичному пробовідборі, які дозволяють отримувати достовірні результати. Для забезпечення екологічної безпеки ряду промислових об'єктів необхідний промисловий контроль ЗР в організованих викидах. Такий екологічний моніторинг дозволить оперативно виявляти джерела викидів, встановлювати причини викидів, з мінімальними втратами усувати порушення технологічних процесів, герметичності обладнання, недоліки в умовах зберігання та застосування сировини, готової продукції, і реально підтримувати безпечний рівень забруднення повітря. Тому актуальним є створення постійно діючої комплексної багатофункціональної газоаналітичної системи на основі використання амперометричних сенсорних блоків уніфікованої серії НТУУ «КПІ» вітчизняного виробництва, яка дозволить проводити контроль також і у важкодоступних місцях. Автори [5] зазначають, що уже розроблена комплексна багатофункціональна газоаналітична система, яка забезпечена метеокомплексом для визначення швидкості і напрямку вітру, з метою прогнозування екологічної обстановки, а також газоаналітичними сенсорами, цифровими дисплеями, у яких є звукова та світлова сигналізація. Конструктивно система виконана у вигляді блоку живлення, сигналізації і виносних до 3 км блоків електрохімічних сенсорів і генераторів, які мають вибухозахищене виконання.

Основним завданням при розробці сенсорних мереж ZigBee є забезпечення надійного зв'язку в умовах різної топології, швидкої доставки даних (мінімальний час), облік пропускну здатності і навантаження, мінімізації енергоресурсів, що визначається вибраним методом маршрутизації, зазначається в [4]. Відсутність єдиних стандартів для проектування бездротових сенсорних мереж, вибору топології (для конкретних додатків), методів маршрутизації (адаптивної, оптимальної), алгоритмів і протоколів передачі, способів обробки даних призводить до необхідності проведення досліджень у даній області, актуальності цих завдань. Метою роботи [4] є розгляд методів адаптивної маршрутизації в сенсорних мережах ZigBee, формулювання рекомендацій щодо їх вибору та пропозицій щодо модернізації протоколів маршрутизації. Також автори зазначають, що методи селективної і фіксованої маршрутизації можна адаптувати до мінливих топології сенсорної мережі. Застосування методів ймовірнісної і адаптивної динамічної маршрутизації найбільш прийнятні до завдань побудови сенсорних мереж. Метод адаптивної маршрутизації визначає оновлення маршрутної таблиці в залежності від коливань трафіку (навантаження) і зміни топології мережі і спрямований на мінімізацію затримки кожного пакета, але не забезпечує мінімізацію загальної середньої затримки пакетів. У бездротовій мережі ZigBee застосовуються способи маршрутизації у вигляді: широкомовлення (broadcasting), явної маршрутизації (source routing), комірчастої мережі (mesh routing), маршрутизації по дереву (tree routing). Активне застосування останніх двох способів організації сенсорних мереж обумовлює подальше дослідження і модернізацію використаних методів і протоколів. Для ZigBee 2006 характерний спосіб адресації «по-дереву»; протоколи маршрутизації adhoc (на вимогу), що

застосовуються в технології ZigBeePRO для мереж зі стохастичною адресацією.

В роботі [2] запропоновано алгоритм самоорганізації безпроводної сенсорної мережі (БСМ) завдяки якому БСМ працює таким чином, що якщо сталося відключення головної станції вузла, вузол будь-якої кінцевої точки в зоні покриття кластера автоматично приймає свою роль. Більш того, якщо один з кінцевих вузлів втрачає зв'язок зі своєю головною станцією вузла, він автоматично переходить в режим пошуку, щоб знайти будь-який інший вузол кінцевої точки. Таким чином, самовідновлення у БСМ за рахунок зазначеної самоорганізації можливе у випадку будь-якого різкого впливу на мережу, наприклад, радіоелектронного, коли зв'язок зі всіма вузлами буде втрачено одночасно.

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.

1. Cyborg City: New York's central nervous system is growing; here's what it can do [Електронний ресурс] / Веб-сайт Capitalnewyork.com — дата доступу 31.01.2013 – Режим доступу : <http://www.capitalnewyork.com/article/media/2010/11/812466/cyborg-city-new-york's-central-nervous-system-growing-heres-what-it-can> — Загол. з екрану.
2. *Husseyн Y. T.* Methodology for designing of energetic algorithm of self-organization in wireless sensor network / Y. T. Husseyн // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції “Сенсорна електроніка і мікросистемні технології” СЕМСТ-5. - Одеса. - 2012. - С. 57.
3. В Кривом Роге создадут систему мониторинга экологической ситуации [Електронний ресурс] / Веб-сайт Podrobnosti.ua — дата доступу 31.01.2013 – Режим доступу : <http://podrobnosti.ua/accidents/2012/12/26/878967.html> — Загол. з екрану.
4. *Головкина Л.В.* Адаптивная маршрутизация в сенсорных сетях ZIGBEE / Л.В. Головкина, А.С. Борисенко // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції “Сенсорна електроніка і мікросистемні технології” СЕМСТ-5. - Одеса. - 2012. - С. 128.
5. *Линочев А.Г.* Комплексная система воздушного мониторинга для экологически небезопасных промышленных объектов / А.Г. Линочев, Н.Д. Гомеля, А.И. Букет, Л.А. Дробязко // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції “Сенсорна електроніка і мікросистемні технології” СЕМСТ-5. - Одеса. - 2012. - С. 129.
6. *Орлова О.Н.* Организация областной сети мониторинга атмосферного воздуха на территории Свердловской области с использованием автоматических станций // ЭКО МОНИТОРИНГ. – 2012. – № 10. – С. 22-26.
7. От «каменных джунглей» к «умному городу» [Електронний ресурс] / Веб-сайт Nabrahabr.ru — дата доступу 31.01.2013 – Режим доступу : <http://nabrahabr.ru/company/intel/blog/167295/> — Загол. з екрану.

Поступила 4.02.2013р.