

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
²ГО «Фрі Ардуіно», м. Івано-Франківськ.

Анотація

Розглянуті сучасні методи моніторингу якості атмосферного повітря. Проведений аналіз найбільш поширених бездротових портативних станцій вимірювання основних параметрів повітря, як метеорологічних так і хімічного складу.

Ключові слова: моніторинг, атмосферне повітря, станції моніторингу

Abstract

Modern methods of atmospheric air quality monitoring are considered. An analysis of the most common wireless portable stations for measuring the main air parameters, both meteorological and chemical composition, was carried out.

Key words: monitoring, atmospheric air, monitoring stations

Вступ

Стрімке зростання міського населення та мільйони смертей, які щорічно пояснюються забрудненням повітря, через що існує критична потреба в глибшому розумінні якості міського повітря. Розташування джерел забруднення у місті і специфічний рельєф кожного міста призводять до неоднорідної концентрації забруднюючих речовин, деталі якого не можуть бути охоплені класичними вимірюваннями. Незважаючи на їх високу точність, класичні системи із вимірювання є великогабаритними, важкими та дуже дорогими, що призводить до дуже рідкого розподілу вимірювань (адже їх розмістити у багатьох місцях немає можливості).

Використання мережі дешевих вимірювальних станцій мають потенціал для зміни парадигми про вимірювання забруднення повітря в містах через значне збільшення просторової роздільної здатності вимірювань. Проте шлях до отримання надійної високоякісної інформації від систем цього типу сповнений труднощів. Він починається вже на рівні проектування системи, оскільки завдання розробки надійних великомасштабних мереж для безперервного міського моніторингу є складним саме по собі. Обмеження існуючих сенсорних технологій є ще одним важливим джерелом серйозних проблем. Недорогі хімічні сенсори, є типовими для такого типу пристроїв, але вони мають ряд проблем, які роблять їх використання нетривіальним. До них належать: нестабільність (часовий дрейф), перехресна чутливість (до інших хімічних речовин або параметрів навколишнього середовища), низьке співвідношення сигнал/шум і повільна динамічна відповідь. Остання проблема, є складною, оскільки вона призводить до значних спотворень вимірювань. Питання досягнення та підтримки калібрування хімічних датчиків протягом усього терміну експлуатації є ще одним важливим питанням, яке впливає з їх типової нестабільності.

Метою роботи є розглянути сучасні методи моніторингу якості атмосферного повітря та провести аналіз найбільш поширених бездротових портативних станцій вимірювання основних параметрів повітря, як метеорологічних так і хімічного складу.

Результати дослідження

Стационарні станції вимірювання. Моніторинг якості здійснюється за допомогою спеціалізованого вимірювального обладнання для дослідження забруднення повітря та його впливу на здоров'я людини та навколишнє природне середовище. Обладнання для моніторингу повітря експлуатується державними установами, дослідниками або приватними особами.

Традиційним підходом до моніторингу якості повітря є використання регіональних мереж статичних станцій моніторингу. Ці станції великі й оснащені дорогими та високоточними системами вимірювання забруднювачів повітря (наприклад, абсорбційними спектрофотометрами, мас-спектрометрами тощо). Вони також зазвичай контролюють відповідні метеорологічні параметри (наприклад, температуру, опади, вітер тощо). Висока вартість цих станцій означає, що вони утворюють дуже розріджені мережі.

Персональний моніторинг є усталеним методом збору даних про забруднення повітря для дослідження впливу на людину. Він зазвичай використовується в епідеміологічних дослідженнях. Вони передбачають передачу деякого портативного обладнання, яке зазвичай поміщають у рюкзак, особам, які носять його з собою протягом попередньо визначеного періоду часу (наприклад, 24 години), через регулярні проміжки часу. Потім рюкзак повертається для передачі даних і обробки [1].

Часто використовуються дифузійні пасивні пробовідбірники, зокрема для вимірювання експозиції NO_2 і O_3 . Ці пристрої дуже дешеві і напівводноразові. Вони працюють, накопичуючи забруднюючі речовини з часом і не надають жодної інформації про короткочасні коливання. Щоб визначити рівень їхнього впливу, їх потрібно обробити та проаналізувати в лабораторії [2, 3].

Для інших видів забруднювачів, таких як CO та забруднюючих частинок, портативні реєстратори доступні, але їх вартість зазвичай висока. Це означає, що навіть якщо накладні витрати на обробку нижчі, ніж для пасивних пробовідбірників, вартість обладнання суттєво обмежує кількість пристроїв, доступних для досліджень.

Надаючи важливу інформацію про вплив забруднюючих речовин на індивідуальному рівні та взаємозв'язок між концентраціями забруднювачів у навколишньому середовищі та в приміщенні, дослідження із застосуванням персонального моніторингу самі такі системи ми обрали за прототип для своєї роботи.

Бездротові сенсорні мережі для моніторингу якості повітря. Бездротові сенсорні мережі (WSN) використовують відносно дешеві сенсорні мережі (тобто пристроїв із вбудованими обчисленнями, вимірюванням і зв'язком) у великій кількості на певній території, щоб отримати дані високої роздільної здатності цільового явища.

Хоча не для всіх пристроїв, перехід від монолітних систем моніторингу до високорозподілених систем, таких як WSN, зазвичай передбачає компроміс у якості вимірювання, оскільки датчики, які є достатньо малими та досить дешевими, щоб використовувати їх у цьому контексті, мають різні проблеми, зокрема високий рівень шуму датчика, низька чутливість, дрейф тощо. Ці проблеми, безумовно, присутні в програмах, націлених на моніторинг якості повітря за допомогою WSN, що робить завдання проектування системи та обробки вимірювань дуже складними. Тим не менш, WSN мають великий потенціал для доповнення більш традиційних систем моніторингу повітря та надання типу просторово-часової щільності вимірювань, необхідних для покращення нашого розуміння впливу забруднюючих речовин у повітрі на людину.

Традиційно більшість досліджень у сфері WSN зосереджені на статичних сенсорних мережах, але в останні роки спостерігається стрімке зростання інтересу до систем, які включають мобільність. Мобільність, безумовно, є кращою для пристроїв моніторингу повітря, оскільки витрати на розгортання та обслуговування для покриття цілого міста виключно статичним методом розгортанням з достатньою роздільною здатністю в кілька десятків метрів все одно будуть непомірно високими. Таким чином, кількість проектів, які не враховують мобільність, невелика і зазвичай обмежується дослідженнями менших територій, більшість проектів розглядають або поєднання статичних і мобільних вузлів, або виключно мобільне розгортання. Одним із прикладів повністю статичної мережі є мережа датчиків якості повітря наприклад проект в аеропорту Хітроу (SNAQ-Heathrow) [4], метою якого було вивчення якості повітря в районі аеропорту за допомогою густої мережі фіксованих сенсорних вузлів.

Наділяючи сенсорну систему мобільністю, можна вибрати з двох основних класів: контрольована або неконтрольована мобільність. Хоча контрольована мобільність дозволяє свободу вибору бажаних траєкторій руху, але це має високу енергетичну ціну, оскільки, окрім енергії, споживаної для вимірювання та передачі даних, потрібно також її використовувати для підтримки мобільності системи.

Використовуючи неконтрольовану паразитну мобільність, цієї проблеми можна уникнути шляхом прив'язки сенсорних мереж до вже існуючих мобільних систем. Наприклад для міста можна використати громадський транспорт або приватні транспортні засоби.

Однак використання будь-якого виду мобільності для моніторингу якості повітря породжує низку дослідницьких проблем. Основна складність виникає через той факт, що хімічні датчики, які досить компактні та недорогі, щоб використовувати їх у сенсорних мережах, зазвичай мають значно повільну динаміку відносно руху.

Мережі портативних вимірювальних станцій. Широкого поширення набули у 2006 році з проекту Mobile Environmental Sensing System Across a Grid Environment (MESSAGE) [5], який був одним із перших європейських проектів з вивчення використання густо розміщених недорогих датчиків для моніторингу якості повітря. Використовувалися як статичні, так і портативні ручні сенсорні платформи [6]. Це був попередник проекту SNAQ-Heathrow.

CitiSense [7] є нещодавнім проектом, спрямованим на забезпечення громадянської інфраструктури для моніторингу забруднення та умов навколишнього середовища, яким піддаються користувачі. Ідея полягає в тому, щоб збирати дані про забруднюючі речовини за допомогою мобільних телефонів і невеликих датчиків, які мають користувачі. Він спрямований на розробку повної кіберінфраструктури, яка вирішує питання керування живленням, зв'язку, безпеки даних і конфіденційності. Пілотні дослідження, заплановані в рамках цього проекту, зосереджені на ряді екологічних питань, що викликають суспільство, таких як дослідження зв'язку впливу навколишнього середовища зі здоров'ям людини, шумом і розвитком громадських місць, а також моніторинг якості повітря в приміщеннях шкіл. З іншого боку, з точки зору зондування забруднюючих речовин, цей проект використовує дуже недорогі та низькоякісні сенсорні платформи.

SmartSantander [8] був ще одним проектом, спрямованим на розробку кіберінфраструктури для сприяння розпізнаванню спільноти, зосередженому в розумних містах. Однією з цілей цього проекту було моніторинг якості повітря учасниками. Однак проект не вдається в подробиці технологій зондування.

EveryAware [9] був проектом, метою якого було створення нових технологічних платформ, що поєднують технології зондування, мережеві програми та інструменти обробки даних для моніторингу забруднення повітря на рівні громад. Цей проект систематично досліджував калібрування та продуктивність багатьох комерційних датчиків газу для закритих/зовнішніх стаціонарних/мобільних платформ, зосереджуючись на оцінці концентрації чорного вуглецю, компонента PM_{2.5}, на основі інших вимірюваних забруднюючих речовин (наприклад, CO і NO₂). Ще одна увага проекту була зосереджена на розробці інтерфейсів користувача та відповідних програм для смартфонів.

Проект AIR (Area's Immediate Reading) [10] також досліджував результати вимірювання якості повітря за участю, надавши громадськості близько 10 сенсорних пристроїв для вивчення міського середовища. У самому пристрої містилися датчики які вимірювали CO, NO_x і O₃. Цей проект не досліджував технологічні особливості сенсорів, хоча були використані точні та високотехнологічні вузли для проведення вимірювань.

Common Sense [11] розробив недорогі портативні датчики для використання учасниками та вивчив механізми для розуміння та використання вхідних даних від різних користувачів (наприклад, членів спільноти, науковців тощо).

Для системи AirCloud [12] було розроблено два типи моніторів PM_{2.5}: більший статичний AQM, який має пряму передачу даних через Ethernet або GPRS, і портативний miniAQM, який призначений для взаємодії через смартфон з використанням Bluetooth. На стороні сервера було розроблено механізм аналізу якості повітря, який вивчає моделі калібрування датчиків за допомогою штучних нейронних мереж (ANN) і оцінює вимірне забруднення за допомогою статистичного розподілу Гауса.

Мережі переносних мобільних вимірювальних станцій. У рамках проекту Mobile Air Quality Monitoring Network (MAQUMON), який виконується лабораторією мережевих вбудованих систем при ISIS Університету Вандербільта, створено прототип системи, що складається з сенсорних вузлів, встановлених на автомобілях. Сенсорний вузол складається з мікроконтролера, бортового GPS-пристрою та набору газових датчиків, що вимірюють концентрації O₃, CO та NO₂.

Вузол підтримує Bluetooth, тому його можна підключати до смартфона або ноутбука для завантаження вимірювань [13].

Haze Watch [14] був іншим проектом, у якому мобільні телефони були підключені (через Bluetooth) до зовнішніх датчиків забруднення, прикріплених до автомобілів, для вимірювання концентрації CO, O₃, SO₂ і NO₂ у повітрі. Потім вимірювання з мітками часу та географічними тегами завантажуються на сервер для створення карт, які накопичують показання всіх учасників і є

доступними для громадськості.

У [15] концепція мобільної системи моніторингу повітря представлена з використанням двох типів сенсорних платформ: спеціально створеного мобільного датчика (MSB), призначеного для транспортних засобів громадського транспорту, та персонального сенсорного пристрою (PSD), призначеного для водіїв приватних транспортних засобів який ґрунтується на системі NODE Variable Inc. Проте представлені результати для обох платформ базуються на експериментах з використанням одного автомобіля.

Citi-Sense-MOB [16] – це європейський проект, спрямований на розвиток інфраструктури для безперервного моніторингу екологічних даних на вулицях за допомогою датчиків, встановлених на мобільних платформах, таких як автобуси та велосипеди. Цей проект також розробляє інтерфейс користувача, використовуючи як веб-сервіси, так і програми для мобільних телефонів.

Використання громадського транспорту як джерела мобільності має очевидні переваги. По-перше, за задумом мережі громадського транспорту повинні забезпечувати добре покриття міста як у просторі, так і в часі.

По-друге, використання цього типу мобільності спрощує технічне обслуговування системи, яке може здійснюватися в одній або кількох конкретних точках. Враховуючи, що найважливішим джерелом міського забруднення є вихлопні гази транспортних засобів, вимірювання, проведені в межах транспортного потоку, мають надати перевагу в оцінці загального поля забруднення. Нарешті, можливість використання запасу енергії транспортного засобу, безумовно, дуже приваблива, оскільки це може забезпечити як вимірювальні, так і комунікаційні завдання, забезпечуючи повну енергетичну автономність.

Висновки

Проведений аналіз існуючих станцій моніторингу якості повітря для оповіщення і відображення громадськості про якість повітря дозволяє краще зрозуміти вплив забруднення повітря на здоров'я міського населення. Кінцевою метою використання таких станцій є розроблення мережі станцій моніторингу якості повітря та надання карт якості повітря на місцевості, якими можуть користуватися всі охочі. Вирішення цього завдання пов'язане з багатьма науковими та технічними труднощами. До них належать такі питання: проектування, розгортання та функціонування системи; досягнення та підтримка калібрування сенсорів протягом усього терміну використання; створення повних карт забруднення повітря з урахуванням динамічного покриття мережі станцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. D. Kim, A. Sass-Kortsak, J. T. Purdham, R. E. Dales, J. R. Brook. Associations between personal exposures and fixed-site ambient measurements of fine particulate matter, nitrogen dioxide, and carbon monoxide in Toronto, Canada. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2006. vol. 16, no. 2. pp. 172–183.
2. E. Palmes, A. Gunnison, J. DiMattio, C. Tomczyk. Personal sampler for nitrogen dioxide. *The American Industrial Hygiene Association Journal*, 1976. vol. 37, no. 10. pp. 570–577,.
3. Y. Yanagisawa, H. Nishimura. A badge-type personal sampler for measurement of personal exposure to NO₂ and NO in ambient air. *Environment International*. 1982. vol. 8. no. 1-., pp. 235–242,.
4. Developing low-cost air quality monitors for Heathrow Airport. Accessed: 29 November 2023, [Online]. Available: <https://www.unialliance.ac.uk/2021/10/24/developing-low-cost-air-quality-monitors-for-heathrow-airport/>
5. Imperial College London. (2006). MESSAGE – Mobile Environmental Sensing System Across Grid Environments. Accessed: 29 November 2023, [Online]. Available: <https://www.commsp.ee.ic.ac.uk/~wiser/message/>.
6. M. Mead, O. Popoola, G. Stewart, P. Landshoff, M. Calleja, M. Hayes, J. Baldovi, M. McLeod, T. Hodgson, J. Dicks, A. Lewis, R. Cohen, J., Baron, J. Saffell, R. Jones., The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. *Atmospheric Environment*. 2013. vol. 70. pp. 186–203,.
7. E. Bales, N. Nikzad, N. Quick, C. Ziftci, K. Patrick, W. Griswold. Citisense: Mobile air quality sensing for individuals and communities Design and deployment of the Citisense mobile air-quality system. *The 6th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2012, pp. 155-158.

8. L. Sánchez, V. Gutiérrez, J. A. Galache, P. Sotres, J. R. Santana, J. Casanueva, L. Muñoz. Smart Santander: Experimentation and service provision in the smart city. *16th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, 2013, pp. 1-6.
9. B. Elen, J. Theunis, S. Ingarra, A. Molino, J. Van den Bossche, M. Reggente, V. Loreto. The Every Aware Sensor Box: a tool for community-based air quality monitoring. *In Sensing a Changing World Workshop*, 2012.
10. Brooke Singer. A chronology of tactics: Art tackles Big Data and the environment. *Big Data & Society*. July-December 2016: DOI: 10.1177/2053951716665869.
11. P. Dutta, P. M. Aoki, N. Kumar, A. Mainwaring, C. Myers, W. Willett, A. Woodruff. Common Sense: Participatory Urban Sensing using a Network of Handheld Air Quality Monitors. *Proceedings of the 7th ACM conference on embedded networked sensor systems*. 2009, pp. 349-350.
12. Y. Cheng, X. Li, Z. Li, S. Jiang, Y. Li, J. Jia, X. Jiang. Aircloud: A Cloud-based Air- Quality Monitoring System for Everyone. *Proceedings of the 12th ACM Conference on Embedded Network Sensor System*. 2014, pp. 251-265.
13. W. Hedgcock, P. Völgyesi, A. Ledeczki, X. Koutsoukos, A. Aldroubi, A. Szalay, A. Terzis, “Mobile Air Pollution Monitoring Network”, in *Proceedings of the 2010 ACM Symposium on Applied Computing*, 2010, pp. 795–796.
14. V. Sivaraman, J. Carrapetta, K. Hu, B. G. Luxan. Hazewatch: A participatory sensor system for monitoring air pollution in Sydney. *Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*. 2013 IEEE 38th Conference on, 2013, pp. 56-64.
15. S. Devarakonda, P. Sevusu, H. Liu, R. Liu, L. Iftode, B. Nath. Real-time air quality monitoring through mobile sensing in metropolitan areas. *Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing*. 2013, p. 15.
16. N. Castell, H.-Y. Liu, M. Kobernus, A. J. Berre, J. Noll, E. Cagatay, R. Gangdal. Mobile technologies and personalized environmental information for supporting sustainable mobility in Oslo: The Citi-Sense-MOB approach. *28th EnviroInfo Conference*, 2014, pp. 699-706.

Адаменко Станіслав Ярославович – аспірант кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, e-mail: stanislav.adamenko-a101-23@nung.edu.ua.

Трелевський Олексій Тарасович – директор ГО «Фрі Ардуіно», м. Івано-Франківськ.

Науковий керівник: **Архипова Людмила Миколаївна** – доктор техн. наук, професор, професор кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Adamenko Stanislav Ya. – Graduate Student of the Department of Ecology, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, e-mail: stanislav.adamenko-a101-23@nung.edu.ua.

Trelevskiy Oleksiy T. – Director of the NGO "Free Arduino", Ivano-Frankivsk.

Academic supervisor: **Arkhipova Lyudmila M.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Ecology Department, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas