

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Ю.Г. Фатеева

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: jfateeva@ipu.ru

Ю.С. Легович

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: legov@ipu.ru

А.Ю. Ефремов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: andre@ipu.ru

Ключевые слова: экологический мониторинг, обнаружение источника загрязнения, карты загрязнения воздуха, беспроводная сенсорная сеть, общественная сенсорная сеть.

Аннотация: Доклад посвящен анализу существующих решений непрерывного экологического мониторинга окружающего воздуха, а также сбору данных и построению карт загрязнения воздуха высокого пространственного и временного разрешения. Проведен сравнительный анализ методов мониторинга с помощью сбора данных с традиционных стационарных экологических станций, системы мониторинга загрязнения воздуха следующего поколения (TNGAPMS), общественной сенсорной сети и анализ существующих мобильных приложений. Рассмотрены возможности разработанного мобильного приложения для сбора данных о высоком загрязнении воздуха токсичными газами.

1. Введение

Проблема экологического мониторинга территорий в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на окружающую среду, а так же оценка состояния ее компонентов на урбанизированных территориях, сохранение и обеспечение качества окружающей среды в целях улучшения здоровья населения входят в приоритетные задачи развития большинства государств, в том числе и России. Загрязнение воздуха было признано де-вятым по величине фактором риска для здоровья живых организмов во всем мире [1].

По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) в 2016 году загрязнение атмосферного воздуха в городах и сельских районах привело к 4,2 миллиону случаев преждевременной смерти в мире [2].

Повышение осведомленности общественности о загрязнении окружающего воздуха может повысить уровень жизни каждого отдельно взятого индивидуума и помочь

принять надлежащие меры в соответствии с личными потребностями (выбрать наиболее чистый район для жизни и воспитания детей, занятий спортом на воздухе, прогулок и т.д.).

Для осуществления такой осведомленности необходимо создать условия для непрерывного сбора и анализа данных о состоянии воздуха с высоким временным и пространственным разрешением для построения карт и моделей прогнозирования загрязнения.

2. Существующие методы сбора данных об окружающем воздухе

2.1. Стационарные станции экологического мониторинга

Для непрерывного анализа состояния атмосферного воздуха в городах обычно используются широкие сети автоматических стационарных и мобильных станций контроля загрязнения атмосферного воздуха, передвижные лаборатории и лабораторные базы. Именно от них в основном и поступают данные о чрезвычайных происшествиях и случаях аварийных выбросов загрязняющих атмосферу веществ.

Неизменным преимуществом таких станций является их высоконадежность, точность используемых измерительных приборов, способных делать замеры широкого спектра загрязняющих веществ [3].

Основными же недостатками таких контрольных станций являются их габариты, вес, дороговизна самого оборудования и его обслуживания. Исследования [4] показывают, что радиус распространения загрязняющих веществ может варьироваться от нескольких метров до нескольких километров, а временной интервал изменения ситуации может занимать от нескольких минут до суток. В таких ситуациях традиционные стационарные станции системы мониторинга не всегда смогут обнаружить повышенную концентрацию опасных веществ из-за недостаточной плотности своего размещения и сложности масштабируемости в силу вышеперечисленных причин.

Примером может служить Московская система мониторинга атмосферного воздуха (Мосэкомониторинг), которая является одной из лучших в Европе. Она включает в себя 56 автоматических станций контроля загрязнения атмосферы, мобильные автоматические станции, передвижные лаборатории и лабораторные базы. Однако даже такая развитая сеть системы контроля качества воздуха не всегда в состоянии найти источник загрязнения.

Примером может послужить неизменная ситуация участившихся случаев фиксации человеком запаха сероводорода (H_2S) в различных частях города Москвы. Но при этом станции экологического мониторинга либо не фиксируют превышение предельно допустимой концентрации (ПДК), либо не могут найти источник выбросов.

H_2S вещество класса опасности – 2. Очень токсичный газ, действующий непосредственно на нервную систему человека. Максимальная разовая предельно допустимая концентрация в воздухе – 0,008 мг/м³. Вдыхание воздуха с небольшим содержанием сероводорода вызывает головокружение, головную боль и тошноту, а со значительной концентрацией приводит к судорогам, отёку лёгких, коме и летальному исходу. При вдыхании воздуха с небольшой концентрацией у человека довольно быстро возникает адаптация к запаху, а при большой концентрации возникает паралич обонятельного нерва, и запах сероводорода почти сразу перестает ощущаться [5].

2.2. Система мониторинга следующего поколения

2.2.1. Беспроводные сенсорные сети. Для повышения пространственно-временное разрешения получаемых данных о состоянии окружающей среды исследователи в последние годы активно развивают Систему мониторинга загрязнения воздуха следующего поколения (TNGAPMS), объединяя недорогие портативные измерительные датчики в беспроводную сенсорную сеть (WSN). Портативные датчики обеспечивают мобильность и возможность крупномасштабного развертывания узлов беспроводной сети WSN, позволяя получать данные в реальном времени [6]. Пространственное и временное разрешение получаемой информации о загрязнении окружающей среды в Системах мониторинга нового поколения (TNGAPMS) значительно больше, чем в традиционных системах мониторинга. TNGAPMS также помогает исследователям более эффективно и точно исследовать распределение уровня загрязнения воздуха, строить модели оценки качества воздуха и прогнозирования [7].

Однако, обычные системы мониторинга загрязнения воздуха в основном основаны на сложных и хорошо зарекомендовавших себя инструментах. Чтобы гарантировать точность и качество данных, эти инструменты используют сложные методы измерения [8] и множество вспомогательных инструментов, включая регулятор температуры (охладитель и нагреватель), регулятор относительной влажности, воздушный фильтр и встроенный калибратор [9]. Как следствие, эти инструменты обычно имеют высокую стоимость, высокое энергопотребление, большой объем и большой вес. В последнее время доступны датчики окружающей среды с низкой стоимостью, небольшими размерами и быстрым временем отклика (порядка секунд или минут). Тем не менее, ни один недорогой портативный датчик окружающей среды не может обеспечить такую же точность и качество данных, как традиционные приборы контроля [10].

Существующие беспроводные сенсорные сети (WSN) можно разделить на две категории: сеть статических датчиков (SSN) и общественная сенсорная сеть (CSN).

2.2.2. Сеть статических датчиков. Сенсорные узлы в таких сетях обычно устанавливаются на столбах уличных фонарей, светофорах или в тщательно отобранных местах. Использование недорогих портативных датчиков, объединенных беспроводной сетью WSN несомненно обладает рядом преимуществ. Во-первых, из-за того, что узел датчиков часто размещается в местах, способных выдерживать достаточные нагрузки, он может интегрироваться со вспомогательными инструментами, и тем самым обеспечить сбор большего количества высокоточных и надежных данных. Стационарность сенсорного узла обеспечивает точно заданные координаты и доступ к периодической калибровке и профессиональному обслуживанию. Также каждому узлу сети гарантированно сетевое подключение и постоянный доступ к электросети.

Однако, у статической сети датчиков есть и ряд недостатков, которые надо учитывать. Во-первых, для обеспечения высокого пространственно-временного разрешения собираемых данных необходимо постоянно увеличивающееся количество сенсорных узлов, которые в свою очередь требуют большой ресурс на настройку оборудования, калибровку и постоянное обслуживание.

2.2.3. Общественная сенсорная сеть. В системах совместного участия датчики обычно переносятся пользователями. В такой сети используются недорогие портативные датчики окружающей среды и смартфоны. Пользователи могут получать, анализировать и обмениваться локальной информацией о загрязнении воздуха [11]. Существенным преимуществом создания карты загрязнения окружающего воздуха с помощью такой сети является ее экономическая эффективность, так как узел датчика использует модуль GPS смартфона, сотовую сеть и вычислительную мощность самого мобильного устройства. Потенциально высокая плотность покрытия узлами общественной сети, с учетом пользователей смартфонов. Стоимость узлов датчиков и передачи данных мо-

жет быть пропорционально распределена между пользователями по доступным каждому участнику ресурсам. Также большим преимуществом является мобильность сенсорных узлов, что позволяет увеличивать географический охват одного сенсорного узла. Однако существенным недостатком такой сети является низкая точность и надежность данных [12]. Кроме того, что пользователи большую часть времени проводят в помещениях, они также являются по большей части практически не откалиброванными и плохо обслуживаемыми. Также серьезные ограничения накладывает потребление энергии, ведь, как правило, сенсорные узлы питаются от батарей малой емкости. Также носимые датчики накладывают серьезные ограничения по весу и размеру.

3. Разработанная система сбора данных об окружающем воздухе с помощью мобильного приложения AirFlow

В последнее время все большую популярность среди жителей городов набирают мобильные приложения, которые показывают агрегированные данные, получаемые со стационарных станций экологического мониторинга, сети портативных датчиков, а также спутников. Такие приложения не только агрегируют и предоставляют данные о состоянии загрязнения в режиме реального времени, но и используют алгоритмы прогнозирования изменения ситуации. Существенным недостатком таких приложений является то, что они используют данные с тех же станций, которые зачастую не фиксируют наличие превышения предельно допустимых концентраций химических веществ.

Одними из самых популярных таких мобильных приложений являются израильский проект BreezoMeter, дающий не только данные об экологической ситуации того места, где вы находитесь, но и персональные рекомендации по сохранению здоровья, а также AirVisual - приложение, разработанное швейцарской компанией, выпускающей малогабаритные портативные станции мониторинга.

Мы разработали мобильное приложение AirFlow, которое позволяет жителям городов не только получать данные об экологической ситуации вокруг, но и выступить в роли сети датчиков, и самим участвовать в сборе данных о превышении концентрации химических веществ в воздухе таких, которые можно опознать с помощью органов обоняния. Простым примером таких веществ являются: газ сероводород H_2S , природный газ вблизи жилых домов, бензолы и т.д.

Любой пользователь мобильного приложения получает возможность оповестить о локальной проблеме загрязнения воздуха в том месте, где он находится. Таким образом, мы создаем карту с высоким пространственно-временным разрешением проблемных зон. Используя данные такой «народной» карты загрязнения, можно будет вычислить источник загрязнения вблизи явно проблемных зон либо с помощью наземных мобильных станций экологического мониторинга, либо квадрокоптеров, оснащенных газоанализаторами.

На данный момент основными функциями разработанного приложения являются: распознавание координат каждого пользователя с помощью встроенного модуля GPS, отображение координат пользователя на интерактивной карте, удобный интерфейс для внесения на карту информации о беспокоящем запахе химического вещества и оценка степени загрязнения. Таким образом, люди отмечают на карте те места, которые вызывают у них беспокойство о складывающейся экологической ситуации. Чем больше оповещений о локационном загрязнении тем или иным химическим веществом, тем нагляднее выявляется проблемная зона, в которой необходимо найти источник химических выбросов.

Так же одной из основных функций мобильного приложения является оповещение пользователей при попадании их в зону загрязнения на основе данных карты. Таким образом, мы создаем общественную сенсорную сеть, основываясь на биологических сенсорах, которыми обладают люди. Эти сенсоры не требуют калибровки или дополнительного технического обслуживания. Так же благодаря поступающим данным система мониторинга имеет возможность быстро реагировать на реальные жалобы со стороны жителей тех или иных районов, минуя традиционную систему подачи заявлений в государственные органы контроля. Недостатком сбора данных с помощью такого приложения является то, что количество участников такой сети является плохо контролируемым ввиду своей неавтоматизированности и подверженности человеческому фактору. Поэтому необходимо интеграция получаемых данных с интерактивной карты AirFlow с данными, получаемыми из других источников экологического мониторинга.

Список литературы

1. Lim S.S., Vos T., Flaxman A.D., Danaei G., Shibuya K., Adair-Rohani H., AlMazroa M.A., Amann M., Anderson H.R., Andrews K.G., et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: A systematic analysis for the global burden of disease study 2010 // *Lancet*. 2012.
2. World Health Organization Ambient (Outdoor) Air Quality and Health. [(accessed on 20 August 2015)]. Available online: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>
3. Amorim L.C.A., Carneiro J.P., Cardeal Z.L. An optimized method for determination of benzene in exhaled air by gas chromatography-mass spectrometry using solid phase microextraction as a sampling technique // *J. Chromatogr. B*. 2008
4. Dobre A., Arnold S.J., Smalley R.J., Boddy J.W.D., Barlow J.F., Tomlin A.S., Belcher S.E. Flow field measurements in the proximity of an urban intersection in London, UK. *Atmos. Environ.* 2005
5. Беспамятов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде // *Справочник. Химия. Л.*, 1985. С. 66-67
6. Ma Y., Richards M., Ghanem M., Guo Y., Hassard J. Air Pollution Monitoring and Mining Based on Sensor Grid in London. *Sensors*. 2008
7. Bravo M.A., Fuentes M., Zhang Y., Burr M.J., Bell M.L. Comparison of exposure estimation methods for air pollutants: Ambient monitoring data and regional air quality simulation. *Environ. Res.* 2012; P. 1–10.
8. United States Environmental Protection Agency List of Designated Reference and Equivalent Methods. [(accessed on 8 September 2015)]; Available online: <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/criteria/reference-equivalent-methods-list.pdf>.
9. Environmental Protection Department of Hong Kong Air Quality Monitoring Equipment. 2012. Available online: <http://www.aqhi.gov.hk/en/monitoring-network/air-quality-monitoring-equipment.html>.
10. Aleixandre M., Gerboles M. Review of Small Commercial Sensors for Indicative Monitoring of Ambient Gas // *Chem. Eng. Trans.* 2012. P. 169-174.
11. Burke J.A., Estrin D., Hansen M., Parker A., Ramanathan N., Reddy S., Srivastava M.B. Participatory sensing // *Proceedings of the 4th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys '06)*; Boulder, CO, USA. 1–3 November 2006. P. 1124-1127.
12. United States Environmental Protection Agency Buildings and their Impact on the Environment: A Statistical Summary. 2015 Available online: <http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/gbstats.pdf>.