

УДК 504.064:004

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕРНЕТА ВЕ- ЩЕЙ

Великий В.А., студент гр. ПИ-181, IV курс

Федоров С.О. студент гр. ПИ-181, IV курс

Научный руководитель: Гиниятуллина О.Л., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

Научный консультант: Замараев Р.Ю., к.т.н., с.н.с

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных
технологий

Актуальность

За последние несколько десятилетий проблемы экологии не перестают занимать одну из лидирующих позиций в списке глобальных проблем человечества. Постоянное наращивание мировых производственных мощностей не позволяет оперативно устранить пагубное воздействие предприятий на природу.

Ещё в 1972 году на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде были сформированы и одобрены принципы экологического мониторинга, направленные на построение системы регулярных длительных наблюдений за состоянием окружающей среды. Целью такого наблюдения является предупреждение негативных воздействий человека на природу.[1]

Экологический мониторинг позволяет как оценить фактическое состояние природной среды, так и выявить тенденции изменения биосферы и прогнозировать её будущее под влиянием антропогенных факторов.

Для охраны природы разрабатывается всё больше новых технологий, в том числе и в сфере IT. Так, в 1999 году была сформирована концепция “интернета вещей” (англ. “Internet of Things”, IoT), предполагающая наличие сети передачи данных между физическими объектами (“вещами”) или внешней средой. Применение данной концепции возможно практически в любой сфере человеческой деятельности. Это может быть сеть интеллектуальных устройств и приборов, регулирующих домашнее освещение, отопление и системы безопасности.

Развивается IoT и в сфере экологического мониторинга. Согласно разработанной в 2017 году на женеvской “Неделе интернета вещей” международной декларации "Интернет вещей для устойчивого развития", одним из ключевых направлений деятельности в области IoT является “применение и использование IoT для сохранения биоразнообразия и экологического мониторинга с целью защиты живой природы и ее разнообразия на суше, в воздухе и под водой”. [2]

Для Кемеровской области мониторинг имеет особое значение. Из-за высокой техногенной нагрузки наблюдается высокий уровень загрязнения сточных вод (34–35 % на 2018 г.). [3] В большей степени поверхностные водные объекты загрязняются сбросами предприятий угледобывающей отрасли (40 %) и химическими веществами и элементами (18,9 %). Следует отметить, что и без того серьезная экологическая ситуация усугубляется сбросом промпредприятиями неочищенных сточных вод, содержащих тяжелые металлы, фенолы, красители, СПАВы и другие опасные загрязнения в централизованные системы водоотведения, увеличивая на них гидравлическую нагрузку и приводя к выходу их из эксплуатации. Таким образом, разработка системы экологического мониторинга для рек Кузбасса на данный момент является актуальным направлением. [4]

Таким образом, на базе Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий в настоящее время разрабатывается прототип информационной системы экологического мониторинга на основе IoT.

В ходе планирования проекта была определена структура разрабатываемой системы, требования к элементам системы, а также средства и технологии для разработки.

Структура системы и данные

Для функционирования информационной системы экологического мониторинга требуется интеграция **подсистемы сбора, подсистемы выгрузки и подсистемы анализа** данных.

Подсистема сбора данных представляет собой сеть умных датчиков, которые распределяются по интересующему водному объекту. Датчики в реальном времени измеряют концентрацию химических загрязнений воды. На основе данных о распространении основных типов загрязняющих веществ, а также о фоновом состоянии воды, набор датчиков формирует цифрового двойника реки. Таким образом, подсистема сбора данных реализует описанную выше концепцию IoT.

Подсистема выгрузки данных предназначена для сбора измерений, проведённых датчиками, и объединение их в целевую базу данных. Такой процесс, называемый ETL (“Extract” - извлечение, “Transform” - преобразование, “Load” - загрузка), позволяет привести все данные датчиков к единой системе значений и детализации, попутно обеспечив их качество и надежность.

Подсистема анализа данных представляет собой набор средств для исследования данных, загруженных подсистемой ETL в базу данных. Здесь оценивается текущее состояние искомого географического объекта и проводится оценка его будущего состояния с помощью искусственного интеллекта или привлечения экспертов.

Следует отметить, что установка датчиков на местности является дорогостоящим и длительным процессом. Поэтому, чтобы избежать неопределённости при возникновении ошибок и отказов на переходе между подсистемами сбора и выгрузки и отработать всю схему передачи данных от измерения до визуализации, подсистема IoT заменяется на конфигурируемые программные **эмуляторы** – источники данных, повторяющие информационные характеристики **датчиков**. Соответственно, при реализации ETL и подсистемы анализа данных становится возможным отработать внутренние механизмы доступа к данным и автоматической адаптации к изменениям в IoT до её непосредственной реализации.

Эмулятор датчиков включает в себе несколько сущностей. Верхняя сущность - «станция» - является агрегатором буферов и имеет индивидуальные характеристики: сетевой адрес, имя, географическая привязка, список доступных «датчиков». «Датчик» представляет собой индивидуальный поток числовых данных в виде обновляемого буфера с установленными характеристиками: имя, измеряемый параметр, частота дискретизации, статистические характеристики. Исходя из соображений, что химические показатели водоёма являются случайными величинами, распределёнными по определённому закону, то есть возможность, зная о параметрах этих случайных величин, применить методы статистического моделирования для генерации необходимой выборки.[5]

Основной принцип работы эмулятора следующий. В определённый момент времени производится обход каналов эмулятора, представляющих собой «станции». Каждый из таких каналов генерирует значения случайных величин его параметров. Полученные значения выгружаются в буфер канала вместе с датой генерации и характеристиками канала в виде *JSON*-строки. Буферы каналов затем просматриваются подсистемой выгрузки данных.

Итак, эмулятор обладает следующими настройками:

- 1) состояние эмулятора (работает или выключен);

2) размер буфера эмулятора, то есть максимальное количество записей измерений всех каналов в общем файле буфера;

3) режим работы эмулятора (синхронный - все каналы имеют одинаковую частоту дискретизации и генерируют значения параметров в одно и то же время, асинхронный - каждый из каналов имеет собственную частоту дискретизации);

4) закон и параметры распределения частоты дискретизации каналов для синхронного режима работы;

5) набор каналов.

В свою очередь, каждый из каналов эмулятора имеет следующие настройки:

1) состояние канала (работает или выключен);

2) сетевой адрес канала, являющийся для него уникальным идентификатором;

3) размер буфера канала, то есть максимальное количество записей измерений конкретного канала в файле буфера этого канала;

4) название канала для обозначения его географического положения (например, «Томь-1»);

5) географические координаты, обозначающие координаты станции, в виде набора чисел – широты и долготы;

6) закон и параметры распределения частоты дискретизации канала для асинхронного режима работы эмулятора;

7) набор генерируемых каналом параметров, являющихся случайными величинами.

Каждый параметр канала имеет такие настройки, как уникальное в пределах канала название и параметры распределения случайной величины, значение которой будет генерироваться эмулятором.

По умолчанию параметрам каналов установлено нормальное распределение. Для генерации значений используется метод обратной функции.[5]

В реальных данных не исключены выбросы – значения, выбивающиеся из сложившегося распределения некоторой величины. Они могут быть вызваны различными факторами, в том числе неисправностью оборудования. В случае экологического мониторинга, выбросы в данных могут быть вызваны выбросами в окружающую среду отходов предприятиями. Следовательно, возможность порождения выбросов также важна для эмулятора.

Для нормального распределения существует множество методов идентификации выброса. Один из них – метод стандартных, который сводится к правилу 3-сигма. Необходимо лишь сгенерировать число, выходящее за пределы

трёх стандартных отклонений от среднего значения.

Для программной реализации эмулятора используется язык программирования *Python* и микрофреймворк *Flask*, предлагающий большую свободу действий для разработчика и хорошо подходящий для небольших проектов, работающих в основном со статическим контентом. Таким образом, эмулятор представляет собой веб-приложение, основная страница которого – страница конфигурации эмулятора. Пример такой страницы продемонстрирован на рисунках 1 и 2.

В конечном итоге функциональность пользовательского интерфейса следующая:

- 1) возможность включения и выключения эмулятора;
- 2) возможность изменения всех описанных выше настроек эмулятора, его каналов и параметров каналов;
- 3) возможность настроить вероятность появления выбросов в данных, распределённых по нормальному закону, а также возможность вручную инициировать выброс в данных (рисунок 2);
- 4) возможность сохранения описанных выше настроек эмулятора в файл конфигурации для последующей загрузки и возобновлении работы после повторного запуска сервера.

The screenshot shows a web interface for an 'Эмулятор датчиков' (Sensor Emulator). The interface is divided into several sections:

- Header:** 'Эмулятор датчиков' on the left and two links 'Буфер эмулятора (чистый JSON)' and 'Буфер эмулятора (таблица)' on the right.
- Settings and State:** Two side-by-side boxes. The left box, 'Сохранение и загрузка настроек', contains 'Сохранить настройки' and 'Загрузить настройки' buttons. The right box, 'Текущее состояние', shows 'Эмулятор не запущен' in red text and a grey toggle switch.
- Emulator Parameters:** A box with 'Режим работы:' set to 'Асинхронный' (via a dropdown), 'Размер буфера:' set to '50' (via an input field), and a 'Сохранить' button.
- Channels:** A section titled 'Каналы эмулятора' containing a table of three channels:

Channel ID	Channel Name	Actions
3567	"Тестовый канал"	Удалить, Настройки, Открыть буфер канала
9576	"Второй канал"	Удалить, Настройки, Открыть буфер канала
8566	"Третий канал"	Удалить, Настройки, Открыть буфер канала

Below the table is a 'Новый канал' button and a 'Настройки' button.

Рисунок 1. Внешний вид страницы конфигурации эмулятора

концентраций химических веществ, полученную с помощью датчиков станций.

Подсистема анализа данных, аналогично эмулятору, представляет собой веб-приложение, реализованное с помощью пакета *Flask*. Основная задача данного приложения – наглядное, информативное представление пользователю состояний станций и датчиков, а также проводимых датчиками измерений на определённый момент времени.

Требования к функциональности подсистемы анализа данных следующие:

- 1) наличие визуального интерфейса для проверки состояния станций и характеристик датчиков (станции располагаются на интерактивной карте);
- 2) визуализация измерений датчиков (представление данных в виде графиков);
- 3) возможность отслеживать аварийные состояния датчиков, в том числе на графиках и на карте;
- 4) возможность регистрации в базе данных новых станций путём передачи системе ETL сетевых адресов станций.

Все данные для представления берутся из базы данных, описанной в подсистеме выгрузки данных.

Заключение

Таким образом, в настоящее время описаны подсистемы программного комплекса экологического мониторинга с учётом замены сети умных датчиков на программный эмулятор. Также учтено, что все три подсистемы реализуются в качестве независимых сервисов, взаимодействующих друг с другом по сети.

Новизна предлагаемого решения заключается в том, что еще до стадии физического размещения измерительного оборудования имеется возможность подготовить к горячему старту всю информационно-аналитическую инфраструктуру системы мониторинга, промоделировать экстраординарные ситуации и отстроить реакцию системы на них.

Стоит подчеркнуть, что, несмотря на направленность данной работы на экологический мониторинг водных объектов Кузбасса, описанный программный комплекс может применяться также и для контроля на любой местности за состоянием воздуха, земли и т.д.

Внедрение системы экологического мониторинга позволит оперативно выявлять источники загрязнения экологических объектов и предотвратить их дальнейшее распространение, что очень важно для крупнейших речных бассейнов нашей страны, испытывающих каждый год колоссальную техногенную нагрузку.

Список литературы

- 1) Хаустов, А. П. Экологический мониторинг : учебник для академического бакалавриата / А. П. Хаустов, М. М. Редина. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 543 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс).
- 2) Международная декларация "Интернет вещей для устойчивого развития" [Электронный ресурс]: Принята путем аккламации участниками Недели интернета вещей 2017 года 9 июня 2017 года – Режим доступа: https://iotforum.org/wp-content/uploads/2019/10/IoT4SDG-Declaration_Russian.pdf (дата обращения: 10.03.2022)
- 3) Брель О.А., Задорожная Г.В., Сасаев Н.И., Егорова А.И. Стратегирование водных ресурсов Кузбасса [Электронный ресурс] // Экономика промышленности. 2020. №13. С. 357-365. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43985376&> (дата обращения: 10.03.2022)
- 4) Потапова Ю. Ускат обретет двойника. В Кузбассе создают уникальную модель управления водными ресурсами [Электронный ресурс] // Российская газета. 2012. Режим доступа: <https://rg.ru/2020/06/05/reg-sibfo/v-kuzbasse-sozdaiut-unikalnui-model-upravleniia-vodnymi-resursami.html> (дата обращения: 10.03.2022).
- 5) Тынкевич, М. А. Исследование операций и имитационное моделирование : учеб. пособие / М. А. Тынкевич, А. Г. Пимонов, С. А. Веревкин ; КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2015. – 248 с.