

УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ПОСРЕДСТВОМ ГЕОПОРТАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ¹

Ямашкин С.А., Ямашкин А.А.
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия
yamashkinsa@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования, направленного на разработку технологии быстрого развертывания геопорталов для решения задачи управления организационными территориально-распределенными системами. Области применения: оптимальное природопользование, мониторинг развития стихийных процессов, управление деятельностью организаций, ресурсы которых распределены на значительной территории, мониторинг социальных процессов.

Ключевые слова: управление организационными системами, территориально-распределенные системы, геопорталы, программная платформа, Интернет вещей.

Введение

Геопортальные системы, решающие задачу визуализации и распространения пространственных данных [1], востребованы в организационных системах, деятельность которых связана с мониторингом и использованием пространственно-распределенных ресурсов: в органах регионального и муниципального управления, службах МЧС, производственных предприятиях и холдингах, логистических компаниях. В данной статье представлены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на разработку технологии, позволяющей осуществлять быстрое развертывание геопорталов для решения задачи управления территориально-распределенными системами.

Геопортальная программная платформа для управления пространственно-распределенными ресурсами состоит из серверной части, формируемой на основе арендуемой инфраструктуры, на которой размещены программные модули, разработанные в ходе работы над проектом. Для взаимодействия с системой необходим компьютер или смартфон с установленным современным веб-браузером и доступом в Интернет. Геопортальная платформа как комплекс программно-аппаратных средств, включает геопортальную систему и сеть управления пространственно-распределенными ресурсами. Управление природно-социально-производственными системами происходит на основе решения задачи мониторинга посредством датчиков и воздействия на основе исполнительных устройств.

1. Геопортальная программная платформа как инструмент быстрого развертывания геопорталов

Большие массивы пространственных данных представляют собой актив, позволяющий решать проектные задачи в области управления территориально-распределенными организационными системами [2]. Геопортальная программная платформа представляет собой программный каркас, позволяющий осуществлять быстрое развертывание конкретных экземпляров геопортальных систем для решения проектных задач. Проектируемые и внедряемые на основе платформы геопорталы представляют собой информационные системы, являющиеся инструментом поддержки принятия решений в организационных системах, деятельность которых направлена на управление природно-социально-производственными системами.

Базовый алгоритм функционирования геопортальной программной платформы, построенной на основе архитектурного паттерна MVC (Модель-Вид-Контроллер), основан на реализации принципа инверсии зависимости (Dependency Inversion Principle) объектно-ориентированного проектирования, который заключается в том, что системные модули верхнего уровня не зависят от модулей нижнего уровня, а оба типа модулей при этом слабо зацеплены за счет интерфейсов [3].

В рамках подсистемы администрирования геопортальной системы реализация принципа инверсии зависимости успешно достигнута следующими способами:

¹ Исследование выполнено в рамках научно-исследовательского проекта «Создание лаборатории искусственного интеллекта» программы социально-экономического развития Республики Мордовия на 2022-2026 годы.

1. Введение интерфейсов для всех сервисов и компонентов: модели, представления и контроллеры, а также вспомогательные библиотеки имеют интерфейсы, определяющие способ взаимодействия с инкапсулированной логикой, при этом взаимодействие с каждым отдельным компонентом зависит от его интерфейсов, а не от конкретной реализации.

2. Использование принципа инверсии управления (Inversion of Control): при котором управление выполнением программы не ложится на конкретные используемые объекты, а, напротив, передается объектам, которые их вызывают. Это позволяет грамотно структурировать код системы, разделить логику по компонентам, сократить дублирование кода и повысить возможность его повторного использования, усилить тестируемость.

Подсистема администрирования геопорталов, реализованная на основе архитектурного паттерна MVC с применением принципа инверсии управления позволяет разделить логику приложения на несколько отдельных изолированных компоненты (модели, контроллеры и представления) и централизованно управлять ими.

Компонентная структура разрабатываемой геопортальной платформы организуется на основе архитектурного паттерна Модель-Вид-Контроллер, предполагающего разделение ключевых компонентов системы на сильно связанные внутри и слабо зацепленные модули манипулирования данными, организации графических интерфейсов, и формирования программной логики системы. Диаграмма компонентов для подсистем геопортала представлена на рисунке 1.

Подсистемы геопортальной платформы включают в себя модуль точки входа, обрабатывающий поступающие запросы и, на основе модуля маршрутизации, принимающего решение о том, какому контроллеру бизнес-логики передать исходные данные запроса для дальнейшей обработки.

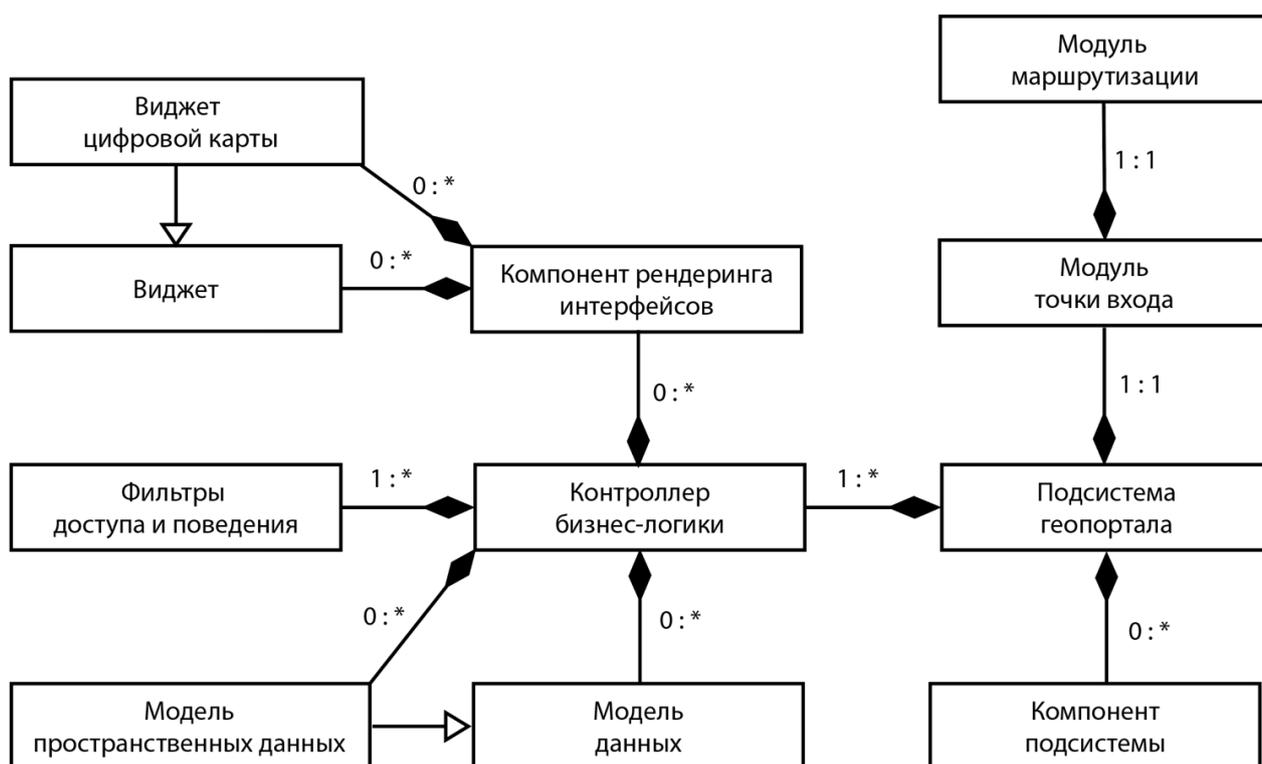


Рис. 1. Диаграмма компонентов для подсистем геопортальной системы

Контроллер бизнес-логики геопортальной подсистемы представляет собой компонент, определяющий последовательность этапов обработки запроса к системе посредством использования фильтров доступа и поведения, моделей данных и компонентов рендеринга интерфейсов для формирования ответного сообщения в форме инструкций построения графических интерфейсов пользователя или структур данных в форматах, пригодных для межмашинного взаимодействия. К контроллеру также могут быть интегрированы библиотеки с открытым исходным кодом.

Модели данных представляют собой компоненты, ориентированные на решение задачи реализации ключевых методов манипулирования данными геопортальной системы (создание, чтение, обновление, удаление). Оптимизация процесса управления данными осуществлена на основе паттерна объектно-реляционное отображения ORM (Object-Relational Mapping) и позволяет работать с данными как с

объектом в соответствии с принципами объектно-ориентированного программирования. В виде отдельных классов, наследующих поведение моделей данных реализованы модели пространственных данных, позволяющие манипулировать типами данных с пространственной геометрией, а также осуществлять пространственные запросы к хранилищу геоданных.

Компоненты рендеринга графических интерфейсов пользователя позволяют подготавливать данные геопортальной системы для их последующей визуализации в рамках веб-интерфейсов системы. Данный класс модулей реализуется на основе принципов шаблонизации и позволяет выстраивать объектную модель документа геопортальной системы на основе языка гипертекстовой разметки HTML. Визуальное оформление графических веб-интерфейсов происходит посредством использования каскадных таблиц стилей CSS, а для обеспечения динамического поведения использован язык программирования JavaScript. Отдельным способом реализации компонента рендеринга является компонент «виджет», формирующий графические интерфейсы для отдельного завершённого модуля, который может быть встроен в интерфейсы геопортальной системы. Использование виджетов позволяет достичь многократного использования кода. Отдельным типом виджета является цифровая карта, позволяющая решать задачу рендеринга данных о пространственно-распределённых объектах.

Наконец, геопортальная подсистема может быть интегрирована с другими компонентами, которые в том числе могут сами по себе быть организованными на основе архитектурного паттерна Модель-Вид-Контроллер. Наконец, в рамках геопортальной подсистемы могут быть использованы библиотеки с открытым исходным кодом.

2. Алгоритмы построения цифровой карты

К важнейшему компоненту геопортальной программной платформы относится модуль «Цифровая карта», ключевые потоки функционирования которого представлены на рисунке 2. Процесс «Цифровая карта» начинается с выполнения алгоритма «Поток А. Инициализация цифровой карты», затем управление передается алгоритму «Поток Б. Визуализация первичного набора данных».

В случае, если инициировано обновление карты посредством масштабирования или панорамирования, выполняется алгоритм «Поток В. Подгрузка геоданных для текущего экрана», включающий вызов алгоритма «Поток Г. Получение значимых площадных геоданных». В пределах определенного интервала происходит вызов алгоритма «Поток Д. Обновление данных о динамических объектах», а посредством использования соответствующего виджета – алгоритма «Поток Е. Поиск геообъектов». Далее представлено описание выполнения потоков обработки данных в рамках модуля цифровой карты.

Общий алгоритм инициализации цифровой карты геопортала имеет следующий вид:

A1. Получение метаданных портала на основе метода API `portal_info`. Ответ включает в себя три блока данных: `portal: {...}`, `styles: {...}`, `categories: {...}`.

A2. На основе блока данных `portal` происходит инициализация цифровой карты: устанавливается заголовочная информация, выбирается тема оформления и формируется графический интерфейс пользователя. Затем осуществляется центровка карты в заданном месте и выбирается масштаб, определенный в системе администрирования.

A3. На основе контейнера `styles` происходит построение таблицы стилей цифровой карты, на основе которой будут стилизованы пространственные объекты полигональной, линейной и точечной формы.

A4. С использованием контейнера `categories` происходит формирование интерактивной легенды, решающей задачу интерактивного выбора тематических слоев и базовой картографической основы.

После выполнения алгоритма инициализации цифровой карты геопортала (поток А) начинает выполняться алгоритм визуализации первичного набора данных (поток Б), включающий последовательность следующих операций:

B1. Получение облегченного массива точечных геоданных по объектам геопортала на основе метода API `objects/total`, имеющего следующую структуру: идентификаторы объектов (`id`), стилей (`style_id`), категорий (`category_id`) и координаты объекта (X и Y). Координаты точечных данных используются по принципу «как есть», а для площадных объектов берется центр минимальной очерчивающей окружности.

B2. Кластеризация облегченного массива точечных геоданных на основе модифицированного алгоритма k-средних (k-means) для разномасштабной визуализации точечных данных на цифровой карте с группировкой по тематическим слоям.

B3. Рендеринг кластеризованных геообъектов на цифровой карте с применением таблицы стилей цифровой карты для визуализации точечных, линейных и площадных объектов.

Б4. Привязка события клика мыши на маркер геообъекта, определяющего порядок асинхронной подгрузки детализированных мета-данных объекта (названия, фотоизображения, описания, тегов).

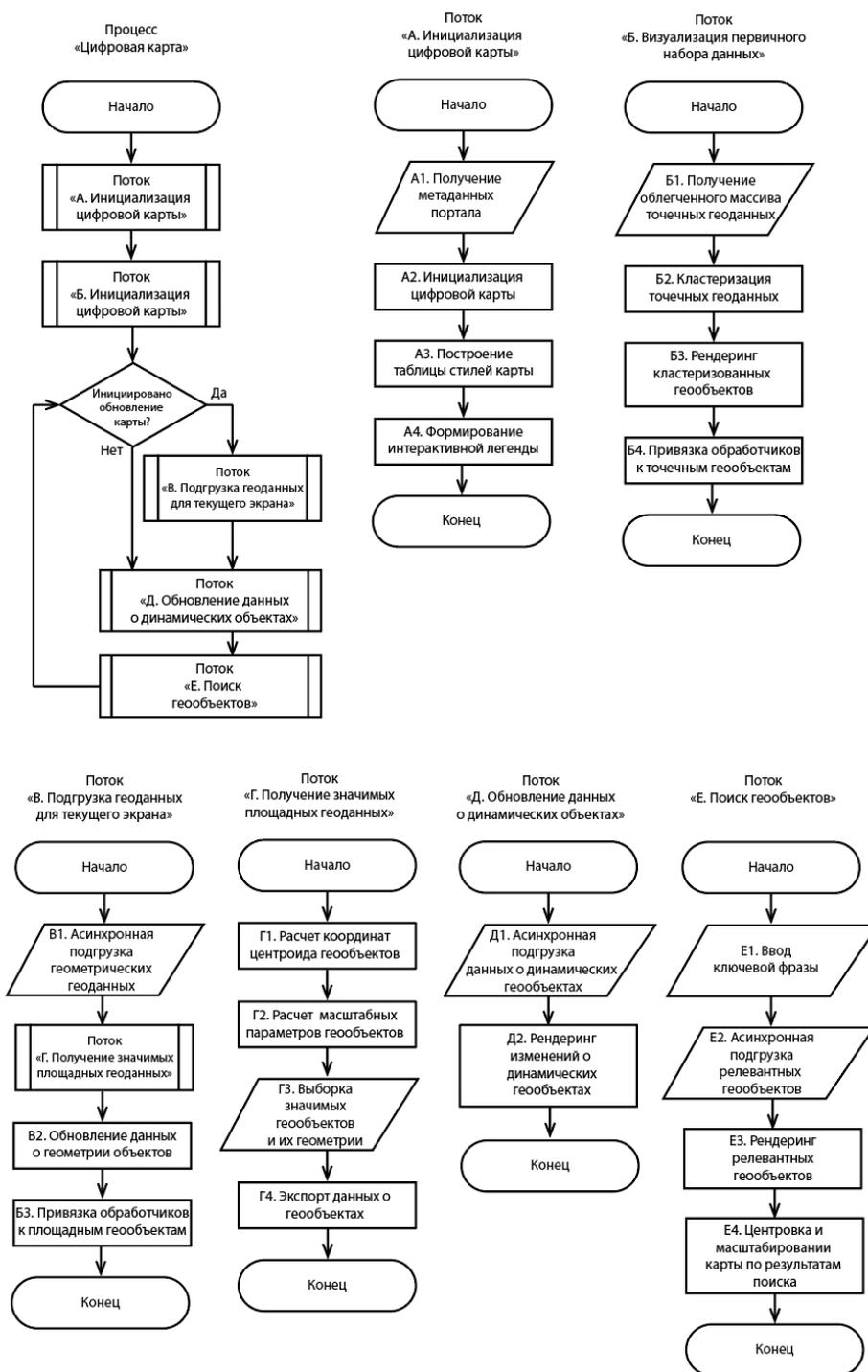


Рис. 2. Блок-схемы процесса функционирования цифровой карты

По результатам выполнения алгоритма визуализации первичного набора данных (поток Б), начинается выполнение алгоритма асинхронной подгрузки геоданных для текущего экрана (поток В). Также поток В, выполняется при двух типах событий: изменения масштаба цифровой карты и панорамировании. Поток содержит следующую последовательность операции:

В1. Совершение асинхронного запроса к серверу данных на основе метода `objects/get_bbox` для получения значимых площадных геоданных, принадлежащих текущему экрану (ограничительной рамке) в формате, содержащем информацию об идентификаторе объекта (`id`), стиля его оформления (`style_id`) и категории (`category_id`) и геометрии (массиве данных `geometry` о вершинах, характеризующих широтой и долготой).

В2. Обновление массива данных о площадных геообъектах для тематических слоев цифровой карты с последующим рендерингом информации для активных слоев.

В3. Привязка события клика мыши на площадной геообъект, определяющего порядок асинхронной подгрузки детализированных мета-данных объекта по тому же принципу, что и для маркера.

Разработанный алгоритм получения значимых площадных геоданных (поток Г), принадлежащих текущему экрану (ограничительной рамке), функционирует следующим образом:

Г1. Для каждого площадного и линейного объекта базы геоданных осуществляется построение минимальной очерчивающей окружности, после чего координаты ее центра (lat , lon) и радиус R сохраняются в базе геоданных в проекции EPSG:4326 (WGS-84) и используются в потоке Б для решения задачи визуализации первичного набора данных.

Г2. Для каждого площадного объекта рассчитывается и сохраняется в базу данных параметр dpx_{18} , равный диаметру геообъекта в пикселях в 18-м масштабе цифровой карты. Расчет этого параметра осуществляется по принципу подсчета разрешения для данной широты при масштабе $z = 18$ и вычисления параметра dpx_{18} , определяющего диаметр минимальной описывающей окружности в пикселях для цифровой карты 18-го масштаба, учитывая радиус R .

Г3. При обновлении масштаба карты и панорамировании в запросе к методу API `portal_info` передаются параметры ограничивающей рамки (bounding box) и z-уровня масштабирования. На основе настраиваемого параметра $threshold$, определяющего минимально значимый диаметр в пикселях для подгружаемых объектов в масштабе, рассчитывается граничный показатель $dpx_{min}(z)$. При выборке объектов, в SQL-запросе определяются два условия: 1) пересечение границ ограничивающей рамки и полигона и 2) необходимость истинности неравенства $dpx_{18} > dpx_{min}(z)$.

Г4. Формирование json-массива площадных объектов в рамках выполнения потока В подгрузки геоданных для текущего экрана с последующим рендерингом значимых объектов на цифровой карте.

Алгоритм обновления данных о динамических объектах (поток Д) выполняется с заданной периодичностью и включает следующую последовательность этапов:

Д1. Асинхронная подгрузка данных о динамических геообъектах. Осуществляется асинхронный запрос к геопортальному серверу с целью получения реестра динамических объектов, их параметров и категорий.

Д2. Рендеринг изменений о динамических геообъектах. В случае, если данные о положении динамического объекта изменились, производится корректировка местоположения маркера динамического объекта на цифровой карте.

Алгоритм поиска геообъектов (поток Е) обеспечивает решение задачи поиска объектов цифровой карты по ключевым словам:

Е1. Ввод ключевой фразы. Пользователь имеет возможность ввода ключевых слов в соответствующем текстовом поле в рамках виджета легенды цифровой карты.

Е2. Асинхронная подгрузка релевантных геообъектов. Осуществляется асинхронный запрос к серверу на осуществление семантического поиска в базе данных геопортала по ключевым словам с учетом морфологии.

Е3. Рендеринг релевантных геообъектов. Производится визуализация объектов на цифровой карте, реестр которых был сформирован на предыдущем этапе алгоритма. Для остальных объектов отключается параметр видимости.

Е4. Центровка и масштабирование карты по результатам поиска. Происходит изменение отображения объектов цифровой карты геопортала таким образом, что все найденные и визуализированные на предыдущих этапах объекты цифровой карты становятся видны в рамках экрана отображения цифровой карты.

3. Обмен данными между геопортальной системой и устройствами

Сеть управления пространственно-распределенными ресурсами представляет собой часть геопортальной платформы, выстраиваемую на основе набора устройств Интернета вещей [4]. Интеграция геопортальных технологий с возможностями сетей Интернета вещей позволяет геоинформационным веб-системам выполнять функцию диспетчеризации [5].

Реализован вариант развертывания вычислительной сети управления на основе системы, состоящей из подчиненных и головных устройств. Устройства разработаны на основе модульной компонентной организации, позволяющей достичь качественное свойство расширяемости и создания новых типов устройств. Получение обозначенного преимущества достигается за счет соблюдения принципов объектно-ориентированного проектирования: единственной ответственности, открытости к расширению, закрытости к внутренней модификации.

Подчиненное устройство (ПУ) включает в свой состав контроллер с программным обеспечением, реализующим возможность подключения датчиков для сбора измерений условий функционирования природно-социально-производственных систем и исполнительных устройств, решающих задачу воздействия на внешнюю среду (рисунок 3). Для определения позиции подчиненного устройства контроллер использует GPS/GLONASS модуль. Устройство приема и передачи данных обеспечивает передачу данных с подчиненного устройства на головное в рамках сети управления пространственно-распределенными ресурсами по внутреннему каналу передачи данных.

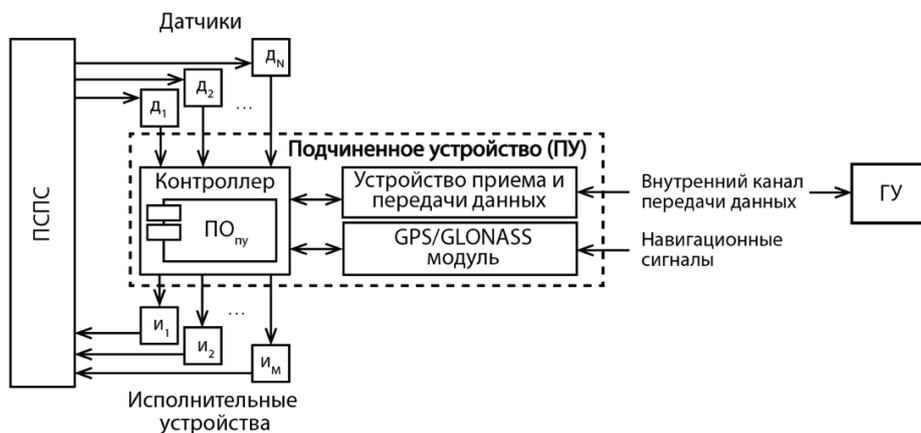


Рис. 3. Подчиненное устройство геопортальной платформы

Головное устройство (ГУ) принимает данные с подчиненных устройств и передает их на геопортальную систему посредством модуля передачи данных по TCP/IP (рисунок 4). Передача данных реализована на основе технологии беспроводной передачи данных в Интернет на основе стандарта IEEE 802.11. Преимуществом предложенного комбинированного подхода, заключающегося в совместном использовании головного и подчиненного устройств заключается в получении возможности эффективного масштабирования сети управления пространственно-распределенными ресурсами. Подчиненные устройства не требуют привлечения сторонних провайдеров связи для обмена информацией по внутреннему каналу передачи данных. Это позволяет достичь получения набора преимуществ при эксплуатации сети. Во-первых, исключается эффект роста стоимости услуг сторонних провайдеров связи при подключении наборов новых устройств. Во-вторых, реализуется возможность построения сети в рамках территориальных систем, не имеющих доступа к сетям передачи данных сторонних провайдеров.



Рис. 4. Головное устройство геопортальной платформы

Для организации внутреннего канала передачи данных используются устройства приема и передачи данных LoRa (Long Range), основанные на технологии модуляции маломощной сети. Преимуществом использования этой технологии является возможность развертывания сети в рамках значительного радиуса, измеряемом километрами в зависимости от территориальных особенностей природно-социально-производственных систем [6, 7]. При этом скорость передачи данных характеризуется невысокими значениями, что удовлетворительно в условиях решения задачи передачи данных с датчиков и управляющих команд.

Отдельное устройство (ОУ), как и подчиненное устройство сети управления пространственно-распределенными ресурсами, функционирует на основе модульной организации и включает контроллер, управляемый программным обеспечением для решения задачи сбора данных с датчиков и запуска исполнительных устройств (рисунок 5). Устройство снабжено модулем передачи данных по TCP/IP, что позволяет при необходимости его использования вне интеграции с головным устройством.

Устройства сети управления пространственно-распределенными ресурсами взаимодействуют с геопортальной системой по шаблону издатель-подписчик на основе протокола обмена сообщениями MQTT, построенного на основе протокола TCP/IP. Эксплуатация протокола обеспечивает устойчивое функционирование процесса обмена данными между устройствами сети управления пространственно-распределенными ресурсами и геопортальной системой как в направлении обмена показаний датчиков, так и при отправке управляющих команд.

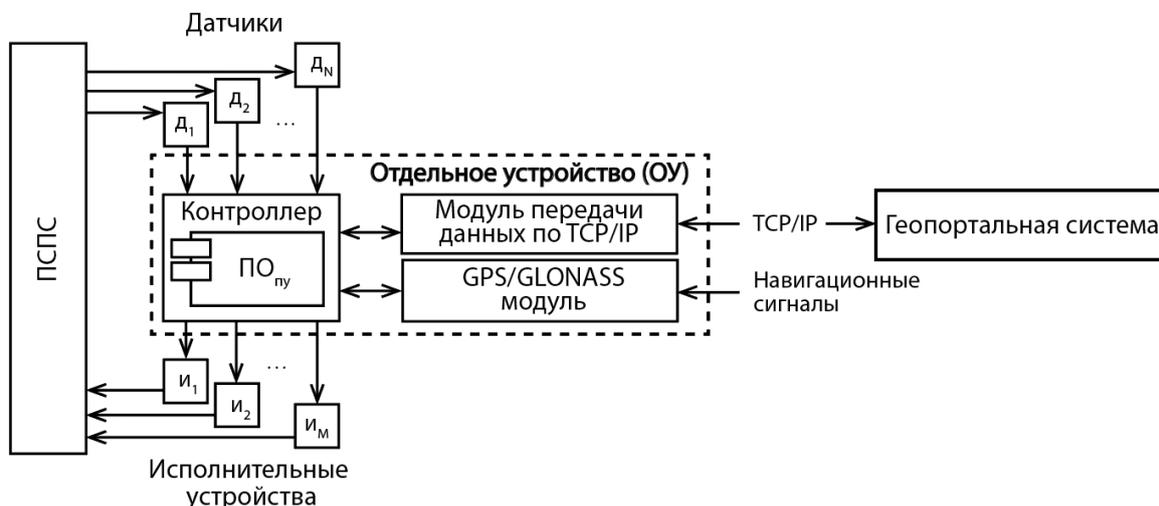


Рис. 5. Отдельное устройство геопортальной платформы

Диаграмма последовательности, представленная на рисунке 6 визуализирует потоки обмена данными, между сервером геопортальной системы и устройствами сети управления пространственно-распределенными ресурсами. Взаимодействие между сервером и головным устройством осуществляется посредством паттерна «издатель»-«подписчик» через брокер сообщений. С точки зрения сетевой организации соединение осуществляется на основе стека протоколов TCP/IP. Клиенты брокера сообщений, сервер и устройство, подписываются на сообщения с заголовком, включающим уникальный идентификатор (токен) устройства.

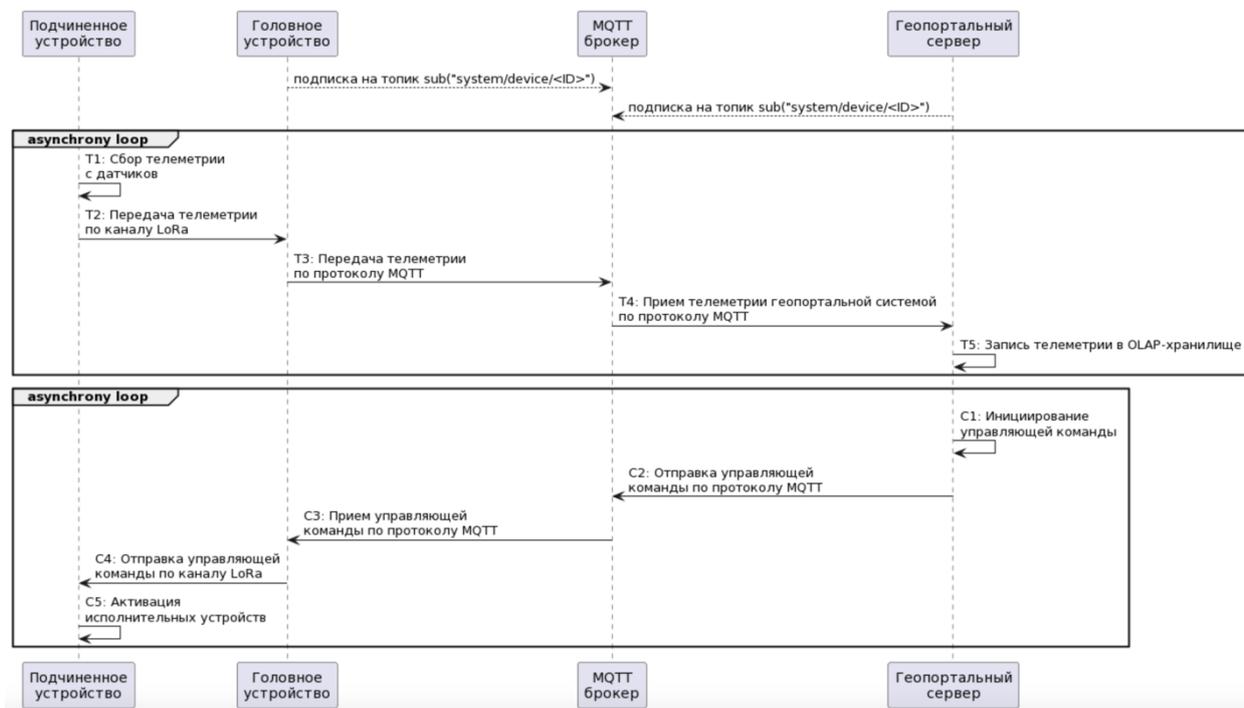


Рис. 6. Диаграмма последовательности, описывающая потоки передачи данных в случае парадигмы использования головных и подчиненных устройств

Алгоритм функционирования подсистемы сбора данных на основе интеграции с компонентами Интернета вещей по парадигме использования головных и подчиненных устройств включает следующий поток обработки данных:

T1. Подчиненное устройство, после запуска осуществляет подключение библиотек, инициализацию атрибутов и режимов работы, и переходит в циклический режим сбора данных с датчиков. Датчики интегрируются на модульной основе, поэтому, их набор может варьироваться от устройства к устройству.

T2. Осуществляется периодическая передача телеметрии по каналу LoRa (или на основе иной технологии передачи данных) на головное устройство, представляющее собой хаб, связывающий набор подчиненных устройств, распределенных по территории управляемой природно-социально-производственной системы и геопортальных, и геопортальный сервер.

T3. Головное устройство на основе протокола MQTT отправляет данные MQTT-брокеру с целью их дальнейшей устойчивой передачи на геопортальный сервер. Передаваемые данные включают в себя: токен идентификации подчиненного устройства, набор данных, собираемых на основе датчиков, а также географические координаты подчиненного устройства.

T4. Геопортальная система, подписанная на сообщения MQTT-брокера, принимает актуальные телеметрические данные от подчиненного устройства через головное, осуществляет их проверку и первичную обработку.

T5. Осуществляется запись телеметрических данных, принятых с подчиненного устройства в OLAP-хранилище.

В рамках прототипа геопортальной платформы наравне с решением задачи мониторинга состояния территориально-распределенных систем решается проблема интеграции с внешними системами. Алгоритм функционирования подсистемы удаленного управления внешними системами на основе интеграции с компонентами Интернета вещей по парадигме использования головных и подчиненных устройств включает следующий поток обработки данных:

S1. Происходит инициализация управляющей команды. Обозначенный этап осуществляется разными вариантами: возможна ручная инициализация управляющей команды в графических интерфейсах, а также запуск управляющей команды по срабатыванию триггера автоматизации.

S2. Геопортальная система на основе протокола MQTT отправляет данные MQTT-брокеру с целью их дальнейшей устойчивой передачи головному устройству. Передаваемые данные включают в себя: токен идентификации подчиненного устройства, параметры управляющей команды.

S3. Головное устройство, подписанное на сообщения MQTT-брокера, принимает параметры управляющей команды от геопортального сервера.

S4. Осуществляется передача параметров управляющей команды по каналу LoRa (или на основе иной технологии передачи данных) на подчиненное устройство, расположенное на территории управляемой природно-социально-производственной системы.

S5. Подчиненное устройство, при условии приема управляющей команды инициирует запуск исполнительных устройств или алгоритмов, подключаемых на модульной основе. Возможна отправка обратного сообщения в случае получения управляющей команды.

Алгоритм функционирования подсистемы сбора данных на основе интеграции с компонентами Интернета вещей по парадигме использования отдельных устройств включает следующий поток обработки данных (рисунок 7):

T1. Отдельное устройство, после запуска осуществляет подключение библиотек, инициализацию атрибутов и режимов работы, и переходит в циклический режим сбора данных с датчиков. Датчики интегрируются на модульной основе, поэтому, их набор может варьироваться от устройства к устройству.

T2. Осуществляется периодическая передача телеметрии: отдельное устройство на основе протокола MQTT отправляет данные MQTT-брокеру с целью их дальнейшей устойчивой передачи на геопортальный сервер. Передаваемые данные включают в себя: токен идентификации отдельного устройства, набор данных, собираемых на основе датчиков, а также географические координаты подчиненного устройства.

T3. Геопортальная система, подписанная на сообщения MQTT-брокера, принимает актуальные телеметрические данные от отдельного устройства, осуществляет их проверку и первичную обработку.

T4. Осуществляется запись телеметрических данных, принятых с отдельного устройства в OLAP-хранилище.

Алгоритм функционирования подсистемы удаленного управления внешними системами на основе интеграции с компонентами Интернета вещей по парадигме использования отдельных устройств включает следующий поток обработки данных:

С1. Происходит инициализация управляющей команды. Обозначенный этап осуществляется разными вариантами: возможна ручная инициализация управляющей команды в графических интерфейсах, а также запуск управляющей команды по срабатыванию триггера автоматизации.

С2. Геопортальная система на основе протокола MQTT отправляет данные MQTT-брокеру с целью их дальнейшей устойчивой передачи отдельному устройству. Передаваемые данные включают в себя: токен идентификации подчиненного устройства, параметры управляющей команды.

С3. Отдельное устройство, расположенное на территории управляемой природно-социально-производственной системы и подписанное на сообщения MQTT-брокера, принимает параметры управляющей команды от геопортального сервера.

С4. Отдельное устройство, при условии приема управляющей команды инициирует запуск исполнительных устройств или алгоритмов, подключаемых на модульной основе. Возможна отправка обратного сообщения в случае получения управляющей команды.

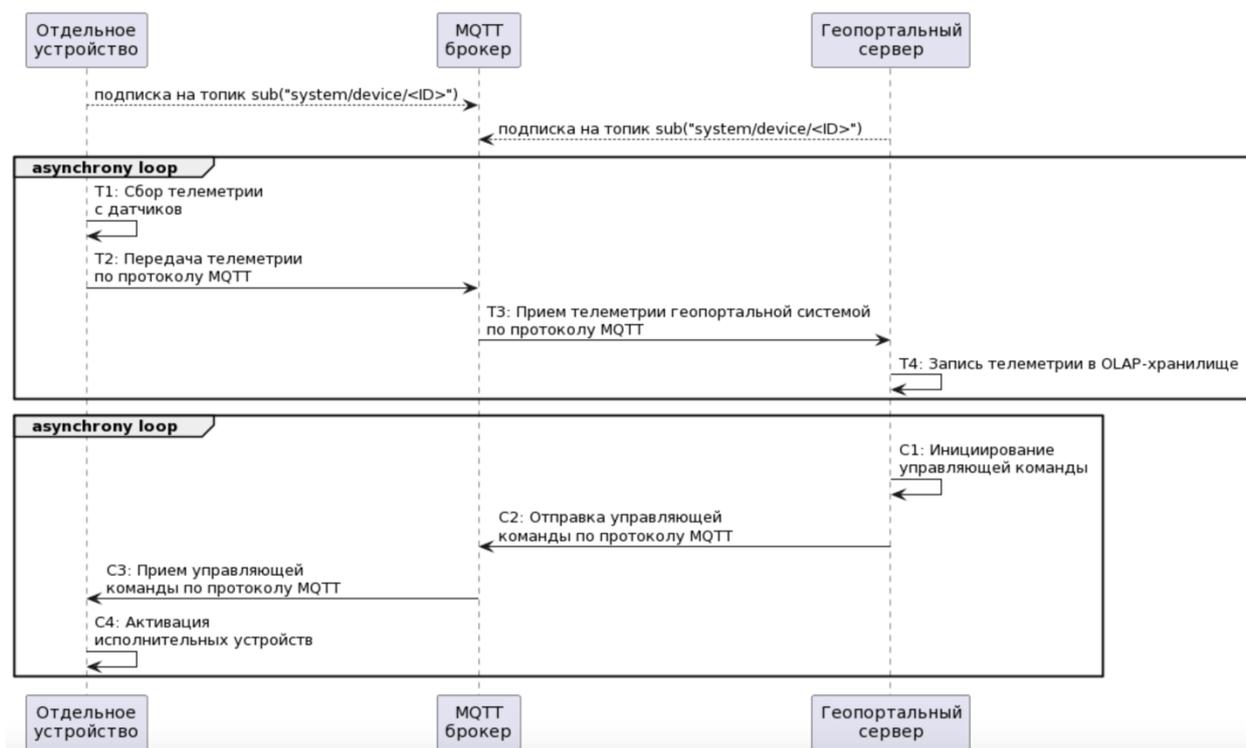


Рис. 7. Диаграмма последовательности, описывающая потоки передачи данных в случае парадигмы использования отдельных устройств

Для подключения устройств нового типа требуется реализация компонента на базе архитектурного паттерна «адаптер» для обработки данных, структурированных в соответствии с особенностями интегрируемого устройства и приведения их в унифицированную форму.

На рисунке 8 представлены блок-схемы обобщенного базового процесса функционирования устройств сети управления территориально-распределенными ресурсами. Алгоритм функционирования устройства начинается с подключения библиотек и инициализации переменных алгоритма. После этого запускается бесконечный цикл, в рамках которого функционирует процесс итерационной обработки.

В ходе него осуществляется получение значений с датчиков и проверка на получение управляющих команд. Далее запускается процесс «Автоматизация», в ходе которого в рамках цикла проверки условий автоматизации при необходимости производится выполнений последовательности автоматизации. В завершении процесса «Итерационная обработка» происходит упаковка данных (показаний с датчиков и лога управляющих команд), а затем этапы данного процесса запускаются с самого начала.

В рамках геопортальной системы реализован функционал процесса выполнения триггеров автоматизации. В рамках данного процесса происходит получение реестра триггеров геопортальной

системы, после чего для каждого отдельного триггера производится проверка условия его срабатывания на основе статистически агрегируемых данных (в том числе реализована проверка пространственно-определяемых условий). Если условие запуска триггера соответствует Истине, производится выполнение целевой команды (например, отправка управляющего сообщения устройству). Также в случае наличия соответствующей настройки осуществляется рассылка оповещений о срабатывании триггера на электронную почту или в мессенджер.

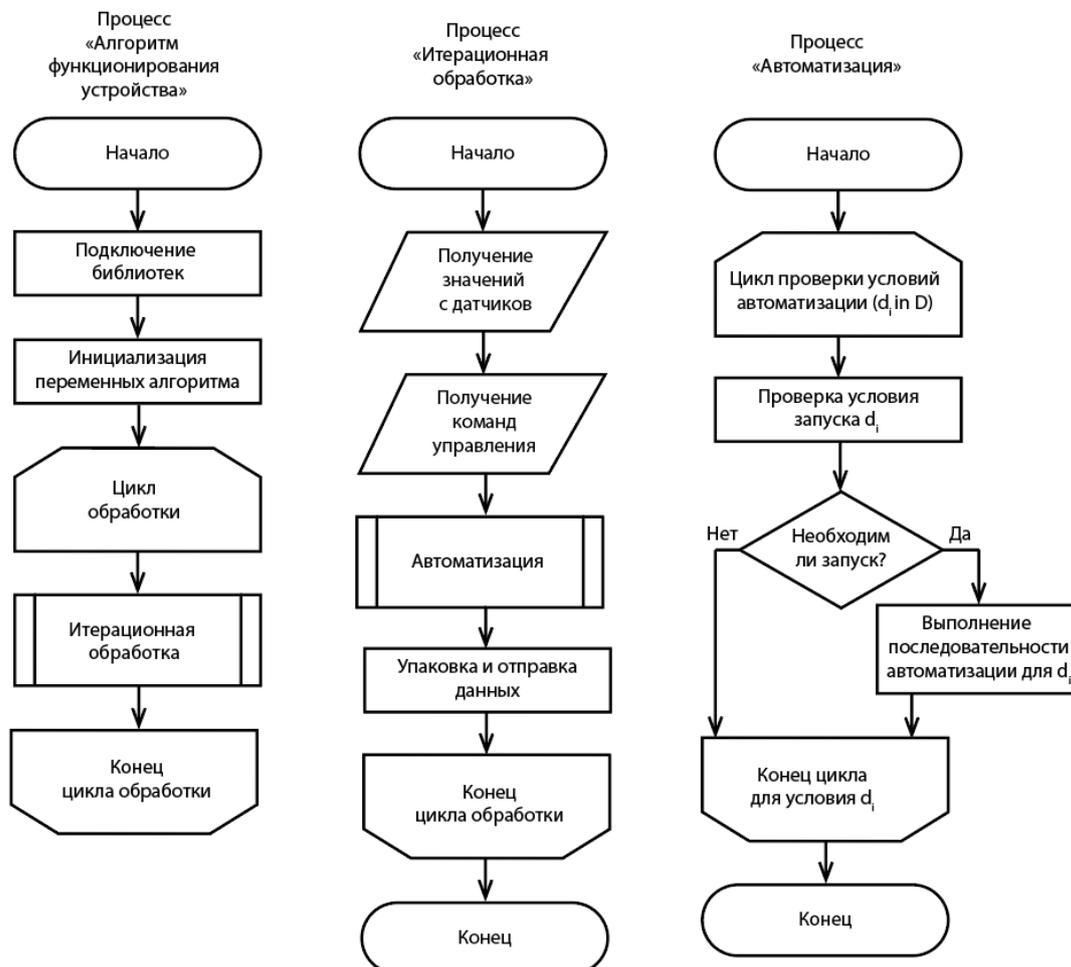


Рис. 8. Блок-схемы процесса функционирования устройств сети управления территориально-распределенными ресурсами

В рамках геопортальной платформы реализован способ управления устройствами на основе протокола MQTT. Принцип функционирования триггеров автоматизации процессом управления устройствами на основе протокола MQTT представлен на рисунке 9.

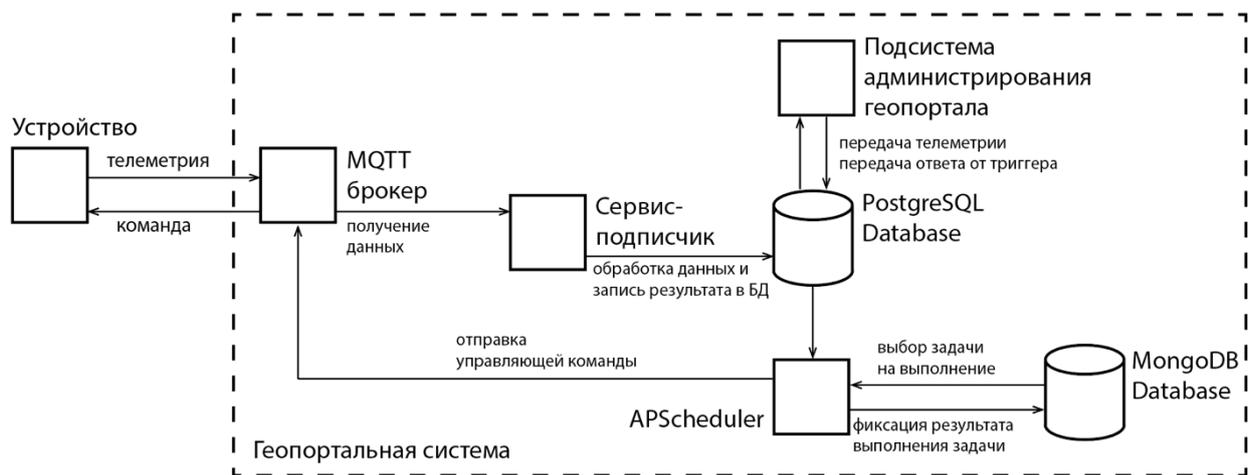


Рис. 9. Принцип функционирования триггеров автоматизации для управления устройствами на основе протокола MQTT

В рамках данного варианта использования MQTT-брокер выполняет работу посредника в решении задачи передачи телеметрии и управляющих команд между устройствами интернета вещей и геопортальной системой. Сервис-подписчик получает данные от MQTT-брокера, обрабатывает и отправляет их на запись в хранилище данных PostgreSQL. Планировщик задач Advanced Python Scheduler (APScheduler) инициирует периодические запросы к документно-ориентированному хранилищу задач, с целью выборки заданий на отправку устройствам на исполнение и обеспечивает отправку управляющей команды на устройство через MQTT-брокер.

4. Заключение

В статье представлены результаты работ, направленных на разработку технологии, позволяющей осуществлять быстрое развертывание геопорталов для решения задачи управления территориально-распределенными системами. Разработанная геопортальная программная платформа для управления пространственно-распределенными ресурсами состоит из серверной части, формируемой на основе арендуемой инфраструктуры, на которой размещены программные модули, разработанные в ходе работы над проектом.

Геопортальная платформа как комплекс программно-аппаратных средств, включает геопортальную систему и сеть управления пространственно-распределенными ресурсами. Управление природно-социально-производственными системами происходит на основе решения задачи мониторинга посредством датчиков и воздействия на основе исполнительных устройств.

Области промышленного применения: оптимальное природопользование, анализ состояния земель, мониторинг развития стихийных процессов, управление деятельностью организаций, ресурсы которых распределены на значительной территории, мониторинг социальных процессов.

Литература

1. Кошкарев А.В. Геоинформатика в инфраструктурном обеспечении цифровой экономики // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 1. – С. 119–126.
2. Lee J., Kang M. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. – Big Data Research. – 2017. – Vol. 2, № 2. – P. 74–81. DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
3. Aniche M., Yoder J., Kon F. Current challenges in practical object-oriented software design // 2019 IEEE ACM 41st International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Results (ICSE-NIER). – 2019. – P. 113–116.
4. Mrabet H., Belguith S., Alhomoud A., Jemai A. A survey of IoT security based on a layered architecture of sensing and data analysis // Sensors. – 2020. – V. 20, № 13. – 3625.
5. Kumar S., Tiwari P., Zymbler M. Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review // Journal of Big data. – 2019. – V. 6, № 1. – P. 1–21.
6. Правосудов А.Р., Ямашкин С.А. Интернет вещей: организация автоматизированного полива // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 2. – С. 83–87.
7. Almuhaya M.A., Jabbar W.A., Sulaiman N., Abdulmalek S. A survey on LoRaWAN technology: Recent trends, opportunities, simulation tools and future directions // Electronics. – 2022. – V. 11, № 1. – 164.