

УДК 631.171

ДОЛМАТОВА М.А., ИСМАГУЛОВ С.Е., ЛЕЙКО Е.А., студенты
Научный руководитель ДОЛМАТОВ А.В., к.т.н., доцент (ЮГУ)
г. Ханты-Мансийск

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ СБОРА ДАННЫХ И WEB-ИНТЕРФЕЙСА МОДУЛЯ КОНТРОЛЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ РАСТЕНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ESP32C3 SUPERMINI

В данной статье рассматривается проект создания распределённой системы для мониторинга параметров среды обитания растений в режиме реального времени. Разработка обусловлена актуальностью задач в области экологии и рационального природопользования, в частности, необходимостью оптимизации водопотребления в агрокультуре и снижения антропогенной нагрузки на почвенные экосистемы. В проекте задействованы такие микроконтроллерные среды, как ESP32C3 SuperMini, а также открытые протоколы связи, которые позволяют создавать ресурсоэффективные решения для постоянного контроля состояния растений и улучшения их микроклимата в дальнейшем.

Современное развитие агротехнологий и сити-фермерства требует внедрения интеллектуальных систем, обеспечивающих постоянный контроль условий выращивания сельскохозяйственных культур. Эффективное управление микроклиматом невозможно без автоматизированного сбора данных о ключевых параметрах, таких как влажность почвы и воздуха, а также температуры воздуха. Все они представлены на рисунке 1.

Проектируемая система построена по принципу многоуровневой архитектуры, обеспечивающей модальность, масштабируемость и отказоустойчивость. Её структура реализует парадигму «периферия-область» с чётким функциональным разделением между уровнями.



Рисунок 1. Модуль для сбора данных о растении

На периферийном уровне функционируют автономные модули сбора данных на базе микроконтроллеров ESP32C3 SuperMini. Каждый модуль представляет собой законченное устройство, оснащённое набором датчиков для

измерения ключевых параметров среды обитания растения – влажности и температуры воздуха, а также влажности почвы. Программное обеспечение микроконтроллера обеспечивает циклический опрос подключенных датчиков по соответствующим интерфейсам, выполняет первичную обработку данных, включая фильтрацию и калибровку, преобразуя сырье значения в физические величины. После обработки модуль формирует структурное сообщение, как правило, в формате JSON, и публикует его в качестве MQTT-клиента на центральный брокер. Таким образом, периферийные устройства функционируют исключительно как публикаторы в рамках MQTT-парадигмы, что минимизирует их логическую нагрузку на энергопотребление.

Центральным звеном, связывающим периферию с серверными приложениями, выступает MQTT-брокер, развернутый на выделенном сервере в сети Интернет. Его ключевая роль заключается в организации надёжного и асинхронного обмена сообщениями. Данная система представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Работа MQTT-брокера

Брокер принимает телеметрию от всех периферийных модулей, которые публикуют данные в соответствующие иерархические топики, и ретранслирует эти сообщения всем сервисам-подписчикам, зарегистрированным на эти топики. Данная реализация шаблона «издатель-подписчик» обеспечивает слабую связность компонентов системы, что позволяет легко масштабировать количество как источников данных, так и потребителей без их взаимной зависимости.

На серверном уровне располагаются сервисы-подписчики, потребляющие данные от MQTT-брокера для их дальнейшего использования. Ключевым среди таких сервисов является сетевой сервис цифрового двойника модуля контроля. Его архитектура включает базу данных для долгосрочного хранения всей исторической телеметрии, что позволяет не только отслеживать текущее состояние системы, но и проводить ретроспективный анализ, выявлять тенденции и строить прогнозные модели. Одновременно с этим сетевой интерфейс, реализованный через RESTful API или GraphQL endpoint, обеспечивает программный доступ к данным для сторонних приложений и систем аналитики, а встроенный веб-интерфейс визуализирует текущие и исторические данные в виде графиков, дашбордов и отчётов, делая информацию наглядной и легко интерпретируемой для конечного пользователя. Таким образом, предложенная архитектура создаёт целостный контур управления – от сбора данных на физическом объекте до их сохранения, анализа и визуализации

в виртуальном цифровом двойнике, формируя основу для принятия обоснованных решений в управлении агроэкосистемами.

На текущий момент выполнена разработка и интеграция ключевых компонентов системной инфраструктуры, что создаёт фундамент для развёртывания полнофункциональной системы мониторинга.

Основным достижением является создание адаптивного веб-интерфейса, встроенного непосредственно в прошивку микроконтроллера (представлено на рисунке 3).

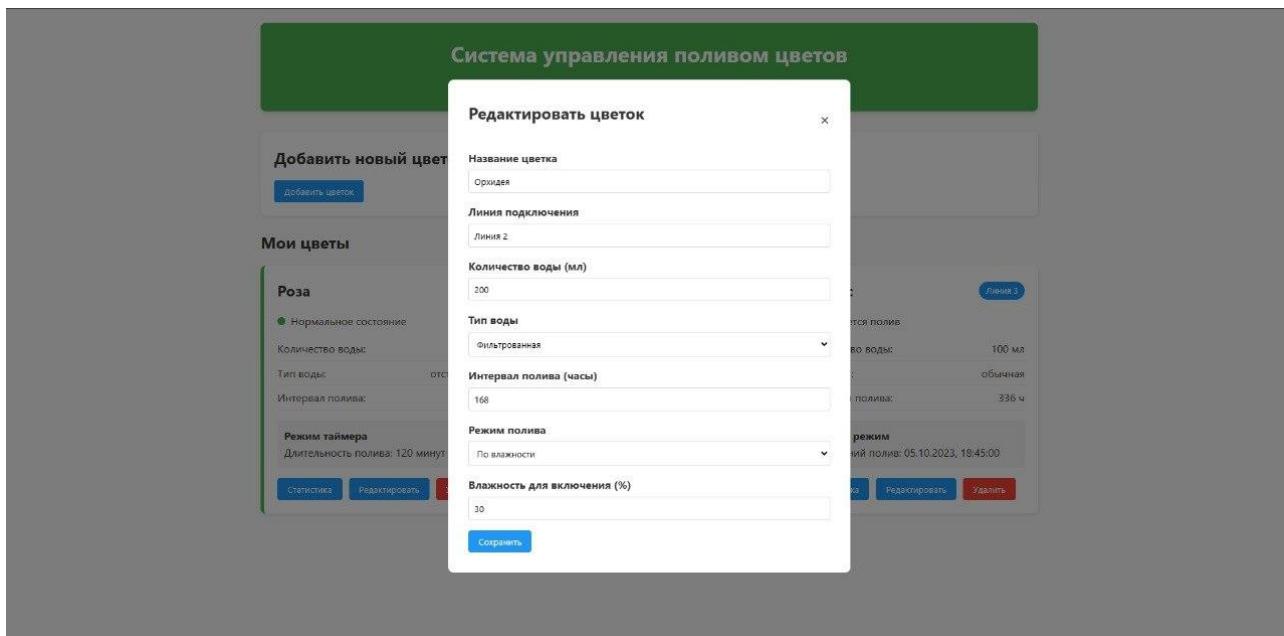


Рисунок 3. Добавление растения в web-приложение

Данный интерфейс реализован с применением современных подходов к фронтенд-разработке и представляет пользователю интуитивно понятный инструмент для конфигурации всех критических параметров работы устройства. В частности, обеспечена возможность задания учётных данных для подключения к беспроводным сетям (SSID и пароль), настройки параметров MQTT-соединения (адрес брокера, порт, учётные данные, корневой топик), установки периода опроса датчиков и пороговых значений для генерации оповещений. Интерфейс включает механизм валидации вводимых данных и обеспечивает обратную связь о текущем статусе системы.

Идёт разработка базового функционала сервиса двойного двойника. Реализована схема базы данных на основе PostgreSQL с оптимизацией для хранения временных рядов, обеспечивающая надёжную запись и быстрый доступ к историческим данным. Создаётся бэкенд-сервис на языке программирования Python с использованием фреймворка FastAPI, который выполняет функции подписчика MQTT и будет обрабатывать входящие данные, а также сохранять их в базу данных.

Дальнейшим критически важным направлением работ будет являться усовершенствование базовых служб микроконтроллера. Будет проведена оптимизация алгоритмов подключения и реконнекта к Wi-Fi-сетям с целью

повышения энергоэффективности и надёжности. Будет реализован надёжный механизм синхронизации системного времени с серверами NTP, что является обязательным условием для корректной временной привязки собираемых данных. Также предстоит разработать модуль для работы с энергонезависимой памятью (EEROM) для сохранения конфигурационных параметров, обеспечивающих их восстановление после перезагрузки устройства.

Таким образом, в рамках проекта разработана и частично внедрена комплексная архитектура системы мониторинга агробиоценоза. Реализация веб-интерфейса, MQTT-брокера и сервиса цифрового двойника формирует готовую инфраструктуру для приёма и обработки данных. Завершение разработки микроконтроллера позволит интегрировать оконечные устройства в созданную экосистему, обеспечив тем самым полный цикл сбора, передачи, хранения и анализа информации о состоянии среды обитания растений, что вносит вклад в развитие ресурсосберегающих и экологически устойчивых агротехнологий.

Список литературы:

1. MQTT Version 5.0. – OASIS Standard. – Режим доступа: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html> (дата обращения: 15.05.2024).
2. PostgreSQL 16 Documentation. – The PostgreSQL Global Development Group. – Режим доступа: <https://www.postgresql.org/docs/16/index.html> (дата обращения: 15.05.2024).
3. FastAPI Documentation. – Режим доступа: <https://fastapi.tiangolo.com/> (дата обращения: 15.05.2024).
4. ESP32-C3 Series Datasheet. – Espressif Systems. – Режим доступа: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf (дата обращения: 15.05.2024).