

УДК 004.415

Применение протокола ESP-NOW для повышения энергоэффективности функционирования IoT на примере разработки метеостанции

Миронов К. Б., Бандурин Н. А., Шелухин Н. М., Бобровский В. И. ✉

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

Постановка задачи. В условиях растущей потребности в мониторинге окружающей среды актуальной задачей является создание компактных и энергоэффективных метеостанций для измерения параметров микроклимата. Современные решения зачастую требуют высокой энергозатраты и сложной инфраструктуры, что ограничивает их применение в автономных системах. **Целью работы** является повышение энергоэффективности автономной метеостанции на базе ESP32, обеспечивающей мониторинг температуры и влажности с визуализацией данных в реальном времени. **Используемые методы:** автономная метеостанция построена на модульной архитектуре, включающей датчик SHT31 и микроконтроллер ESP8266 для сбора метрик, микроконтроллер ESP32 для обработки данных и их передачи по протоколу MQTT, а также программную платформу Node-RED для визуализации информации. Для обеспечения автономности реализована оптимизированная схема электропитания с использованием литий-ионного аккумулятора, модуля зарядки TP4056 и механизма глубокого сна ESP. **Новизна:** в отличие от аналогичных решений, представленная метеостанция обладает высокой энергоэффективностью и модульной гибкостью, позволяя адаптироваться к различным сценариям использования. Применение энергосбережения в сочетании с оптимизированной передачей данных через MQTT минимизирует энергозатраты и повышает стабильность работы системы. **Результат:** разработана и протестирована компактная метеостанция, обеспечивающая надежный сбор и передачу данных. Отображение параметров температуры и влажности реализовано в виде интерактивной панели визуализации данных в Node-RED, предоставляющей графики изменений и текущие значения метрик. Автономность работы устройства увеличена за счет энергосберегающего режима и оптимизированной схемы питания, что позволяет использовать систему без частой подзарядки. **Практическая значимость:** разработанная конструкция может применяться для мониторинга микроклимата в закрытых помещениях, сельскохозяйственных объектах и удаленных зонах. Использование доступных компонентов и открытого программного обеспечения делает систему экономически эффективной и удобной для внедрения.

Ключевые слова: метеостанция, микроклимат, ESP32, протокол MQTT, визуализация данных, автономное устройство, мониторинг окружающей среды, ESP-NOW

Актуальность

С ростом интереса к мониторингу окружающей среды и необходимости контроля микроклиматических условий для различных целей, включая сельское

Библиографическая ссылка на статью:

Миронов К. Б., Бандурин Н. А., Шелухин Н. М., Бобровский В. И. Применение протокола ESP-NOW для повышения энергоэффективности функционирования IoT на примере разработки метеостанции // Информационные технологии и телекоммуникации. 2023. Т. 11. № 4. С. 24–35. DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-4-24-35

Reference for citation:

Mironov K., Bandurin N., Shelukhin N., Bobrovskiy V. Application of ESP-NOW Protocol to Improve Energy Efficiency of IoT Operation on the Example of Weather Station Development // Telecom IT. 2023. Vol. 11. Iss. 4. PP. 24–35. (in Russian) DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-4-24-35

хозяйство, умные дома и научные исследования, возрастает актуальность создания компактных и энергоэффективных систем для сбора и анализа данных. При этом основными вызовами являются необходимость обеспечения автономной работы таких устройств в условиях ограниченного энергопотребления и их интеграции с современными системами визуализации и анализа данных. Современные подходы к созданию автономных метеостанций зачастую предполагают использование либо энергозатратных решений, требующих постоянного подключения к сети электропитания, либо устройств с ограниченной функциональностью и низкой точностью измерений. Это создает проблему оптимизации энергопотребления, которая становится особенно актуальной для систем, предназначенных для длительного автономного функционирования в удаленных районах.

В ряде исследований предложены решения, направленные на повышение энергоэффективности и внедрение беспроводной передачи данных для мониторинга параметров окружающей среды. Однако такие подходы часто либо недостаточно универсальны, либо требуют значительных ресурсов для их реализации. Актуальность работы заключается в создании компактной автономной метеостанции с использованием микроконтроллеров семейства ESP, поддерживающих энергоэффективный протокол ESP-NOW и функции энергосбережения. Такой подход позволяет обеспечить как высокую точность измерений температуры, влажности и давления, так и долгосрочную работу устройства от аккумулятора без необходимости частой подзарядки. Кроме того, интеграция собранных данных в систему визуализации на основе Node-RED через протокол MQTT предоставляет возможности для масштабирования и дальнейшей интеграции с различными системами анализа данных, что делает решение универсальным для использования в широком спектре приложений.

Постановка задачи

Традиционные метеостанции часто зависят от проводных соединений или беспроводных сетей Wi-Fi, что может ограничивать их мобильность, энергопотребление и стабильность работы в удаленных районах. Одним из перспективных решений для создания беспроводной сети датчиков является использование протокола ESP-NOW, разработанного компанией Espressif. Этот протокол обеспечивает малозатратный обмен данными между устройствами ESP без необходимости подключения к Wi-Fi или внешнему серверу, что делает его привлекательным для энергосберегающих IoT-устройств¹.

Авторы ставят перед собой задачу – разработать и описать метеостанцию на основе микроконтроллеров ESP8266/ESP32, использующих ESP-NOW для передачи информации между датчиками и центральным узлом, а также снизить энергопотребление системы, с помощью режима энергосбережения микроконтроллера. Для интеграции с внешними системами и визуализации данных будет использоваться протокол MQTT и платформа Node-RED.

¹ ESP-NOW // Espressif Systems. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_now.html

Перечень комплектующих

Для реализации автономной метеостанции с мониторингом микроклиматических параметров был составлен перечень необходимых комплектующих (таблица 1). Представленный перечень комплектующих включает в себя необходимые микроконтроллеры для реализации основного шлюза и клиентских устройств, а также вспомогательные устройства, включающие в себя сенсоры для сбора климатических данных и устройства питания. Для упрощения сборки конечной системы было решено работать с микроконтроллерами в реализации макетной платы.

Таблица 1 – Перечень комплектующих

№ п/п	Название	Изображение	Количество
1	ESP32-DevKitC	 The image shows an ESP32-DevKitC board, a small microcontroller development board with a black PCB and various components like a USB port, pins, and a microcontroller chip. The text "EstarDyn" is visible at the top and "ESP-32 38Pin" at the bottom.	1
2	WEMOS D1 Mini V4.0.0	 The image shows a WEMOS D1 Mini V4.0.0 board, a small microcontroller development board with a blue PCB and various components like a USB port, pins, and a microcontroller chip.	2
3	Датчик температуры и влажности SHT31	 The image shows an SHT31 sensor module, a small electronic component with a purple PCB and various components like a sensor chip, pins, and a microcontroller chip.	2
4	Проводной кабель SH 1.0mm 4pin	 The image shows a SH 1.0mm 4pin cable, a multi-colored cable with four pins, used for connecting the sensor module to the microcontroller.	2
5	Плата зарядки аккумулятора TP4056	 The image shows a TP4056 battery charging board, a small electronic component with a blue PCB and various components like a USB port, pins, and a microcontroller chip. The text "With Battery Protection Function" and "Weight: 2.05g" is visible. The board is labeled "18650 Type-C".	2
6	Аккумулятор 3.7V 650mAh	 The image shows a 3.7V 650mAh battery, a small cylindrical battery with red and black terminals.	2

Схема метеостанции

Для создания автономной метеостанции была разработана структурная схема (рисунок 1), которая отражает взаимодействие всех элементов системы.

Схема построена на основе компонентов, перечисленных в перечне комплектующих (см. таблицу 1), и наглядно иллюстрирует логику функционирования системы, показывая, как все узлы объединяются для выполнения поставленных задач. Разработанная схема представляет собой систему метеостанции, использующую протокол ESP-NOW для передачи данных между устройствами, и MQTT для отправки данных на сервер через Wi-Fi.

Центральный узел (ESP-NOW Gateway), основанный на ESP32-DevKitC, выполняет роль шлюза между датчиками температуры и влажности и брокером MQTT (см. рисунок 1): получает данные от датчиков с помощью протокола ESP-NOW и отправляет их на брокер MQTT (в данном случае Mosquitto) через Wi-Fi. Для его функционирования требуется постоянное питание от сети.

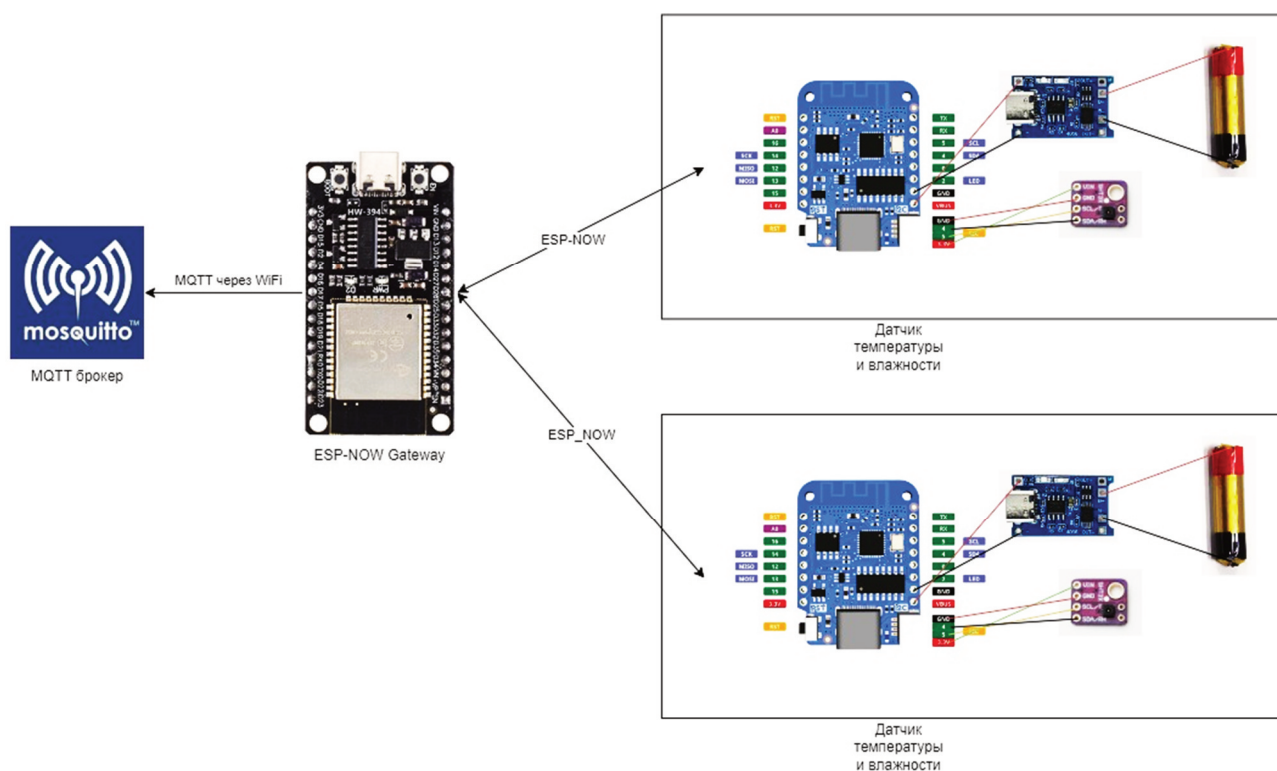


Рис. 1. Схема системы метеостанции

Для стабильной работы системы метеостанции необходимы датчики температуры и влажности. В качестве микроконтроллеров используются платы WEMOS D1 Mini V4.0.0 на основе ESP8266. К каждой плате подключен датчик температуры и влажности SHT31. Датчики передают информацию через протокол ESP-NOW на центральный узел. Каждая WEMOS-плата питается от литиевого аккумулятора 3.7 В 650 мАч, для зарядки которого используется модуль TP4056. Датчик SHT31 подсоединен к выводам питания (VCC и GND) и к интерфейсу I2C платы WEMOS D1 Mini (выводы SDA и SCL). Соединение производится с использованием проводного кабеля SH 1.0mm 4pin.

Преимущества использования ESP-NOW для передачи данных

ESP-NOW – это протокол, разработанный компанией Espressif, который позволяет нескольким устройствам обмениваться данными без использования Wi-Fi. Он работает на частоте 2,4 ГГц и напоминает маломощные беспроводные соединения, используемые в сетях передачи данных. Полезная нагрузка ограничена 250 байтами. Перед началом работы необходимо выполнить сопряжение устройств, после чего связь становится безопасной и работает по принципу «точка–точка» без необходимости дополнительного обмена запросами (handshake). Это обеспечивает стабильное соединение: если одно из устройств внезапно потеряет питание или перезагрузится, после включения оно автоматически восстановит связь и продолжит обмен данными (https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_now.html) [1].

ESP-NOW поддерживает несколько режимов работы, что делает его гибким для различных IoT-приложений. В режиме односторонней связи (One-Way) одно устройство (отправитель) передает данные другому без обратной связи. В режиме One-to-Many одно устройство отправляет информацию сразу нескольким устройствам. В режиме One-Slave-Multi-Master одно устройство может принимать данные от нескольких отправителей. Также возможен двусторонний обмен (Two-Way), где устройства могут как отправлять, так и получать информацию, обеспечивая полноценное взаимодействие² [1].

Использование протокола ESP-NOW в метеостанции дает ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами передачи данных, такими как Wi-Fi, LoRa или Zigbee.

Во-первых, в отличие от Wi-Fi, который требует постоянного подключения к маршрутизатору и потребляет много энергии, ESP-NOW обеспечивает прямую связь между устройствами без необходимости «точки доступа» [2]. Это значительно снижает энергопотребление, что особенно важно для автономных систем, работающих на аккумуляторах. Устройства на базе ESP-NOW могут большую часть времени находиться в спящем режиме, пробуждаясь только для отправки данных, что позволяет им работать в течение месяцев без замены питания.

Во-вторых, важным преимуществом является минимальная задержка передачи информации. В то время как Wi-Fi может вводить задержки из-за сетевых перегрузок и сложности протоколов, ESP-NOW передает данные практически мгновенно, с латентностью порядка 2 мс [3]. Это делает его отличным выбором для систем реального времени, где важна быстрая реакция на изменения параметров окружающей среды.

В-третьих, стабильность соединения также играет ключевую роль. В отличие от Wi-Fi, который может страдать от перегрузки сети и разрывов связи, ESP-NOW работает в локальной сети устройств и менее подвержен помехам. Кроме того, отсутствие зависимости от внешнего интернета делает систему более надежной и пригодной для работы в удаленных районах, где доступ к сети ограничен.

² Руководство по ESP-NOW // Вольтик. URL: <https://voltiq.ru/esp-now-esp32-arduino-ide>

В-четвертых, преимуществом является отказоустойчивость и гибкость сети. В отличие от LoRa, который требует сложной настройки и внешнего шлюза, ESP-NOW позволяет строить распределенные сети датчиков, передающих данные напрямую или через промежуточные узлы [2]. Это снижает вероятность отказа всей системы при выходе из строя одного из узлов и упрощает масштабируемость метеостанции, позволяя легко добавлять новые датчики без значительных изменений в архитектуре.

В-пятых, сочетание ESP-NOW с MQTT позволяет создать эффективную гибридную систему: датчики используют ESP-NOW для энергосберегающей передачи данных, а центральный узел отправляет собранную информацию в облако через MQTT; такой подход объединяет лучшие стороны обоих протоколов.

Схема датчика температуры и влажности

Одним из ключевых элементов устройства является датчик температуры и влажности, основанный на использовании модуля SHT31. Для обеспечения его корректного функционирования была разработана схема подключения, включающая интерфейсные кабели, энергопитание и взаимодействие с микроконтроллером (рисунок 2). Схема демонстрирует, каким образом датчик и система питания подключаются к микроконтроллеру.

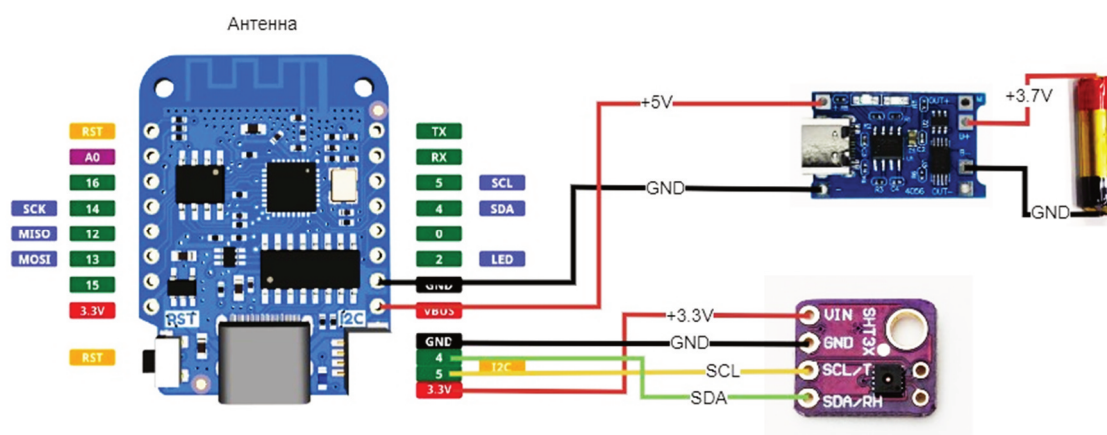


Рис. 2. Схема подключения датчика температуры и влажности

Представленная на рисунке 2 схема демонстрирует интеграцию датчика температуры и влажности SHT31 с микроконтроллерной платой WEMOS D1 Mini V4.0.0, источником питания (аккумулятором 3.7 В) и модулем зарядки TP4056. Она является частью системы метеостанции и позволяет собирать данные о климатических параметрах для последующей передачи.

Микроконтроллер WEMOS D1 Mini V4.0.0 является основным элементом системы и выполняет обработку данных с датчика и их передачу через ESP-NOW. Питание подается от вывода +5V через модуль TP4056. Датчик температуры и влажности SHT31 взаимодействует с микроконтроллером через интерфейс I2C: линия SCL соединена с выводом D1 платы, а SDA — с D2. Линия питания датчика (VCC) подключена к выводу 3.3V микроконтроллера, а общий

провод (GND) соединен с GND WEMOS D1 Mini. Модуль зарядки TP4056 соединен с литий-ионным аккумулятором 3.7 В, обеспечивая его зарядку и стабилизацию питания.

Программная логика шлюза на основе ESP32

Программный код шлюза реализует логику работы микроконтроллера ESP32, который собирает данные с удаленных сенсоров и отправляет их на брокер MQTT. Шлюз действует как центральный узел связи между несколькими устройствами на базе протокола ESP-NOW и брокера MQTT, обеспечивая прием, обработку и передачу данных о температуре, влажности и давлении.

Основные функции и задачи кода:

- инициализация ESP-NOW для обмена данными между устройствами;
- подключение к Wi-Fi и брокеру MQTT для передачи собранных данных;
- обработка сообщений (прием данных и запросов на сопряжение) от сенсоров и добавление их в список подключенных устройств;
- отправка данных в формате JSON на брокер MQTT;
- автоматическая повторная попытка подключения к брокеру MQTT в случае разрыва связи.

Таким образом, шлюз ESP32 выполняет роль посредника между беспроводными сенсорами и сервером, на котором могут быть реализованы системы визуализации или аналитики.

Логика клиентского устройства для измерения температуры и влажности на базе ESP8266

Программное обеспечение клиентского устройства, работающее на ESP8266, отвечает за сбор и передачу данных о температуре и влажности с датчика SHT31. Код данного устройства собирает информацию с датчиков о состоянии окружающей среды, обеспечивает обмен полученными данными по протоколу ESP-NOW с центральным узлом, которому передаются измерения, а также реализует механизм автоматического сопряжения с центральным узлом, что упрощает первоначальную настройку устройства. Одна из важных особенностей клиентского устройства – его энергоэффективная работа. Отказ от энергозатратного Wi-Fi в интересах энергоэффективного ESP-NOW, а также использование энергосбережения и режима глубокого сна, поддерживаемого микроконтроллером, позволяет добиться оптимизации энергопотребления.

Модуль ESP8266 имеет четыре режима энергосбережения³.

Режим 1. Активный (Active Mode) – модуль полностью включен, передает и принимает данные, потребляет наибольшее количество энергии.

³ Как использовать спящие режимы в ESP8266 для энергосбережения. // Мир микроконтроллеров. URL: <https://microkontroller.ru/esp8266-projects/kak-ispolzovat-spyashhie-rezhimy-v-esp8266-dlya-energoberezeniya>

– процессор работает, Wi-Fi отключен; используется для задач без необходимости передачи данных, например, управления устройствами через ШИМ (широтно-импульсная модуляция).

Режим 3. Light-Sleep – это спящий режим модуля ESP8266, в котором процессор и все встроенные устройства модуля поставлены на паузу, пробуждение возможно внешним прерыванием; Wi-Fi может отключаться при отсутствии передачи данных.

Режим 4. Deep-Sleep – функционирует только часы реального времени (RTC). Пробуждение происходит по сигналу с RTC. Все остальные компоненты выключены; используется для редкой передачи данных с минимальным энергопотреблением.

При использовании Wi-Fi модуль ESP8266 потребляет около 150–200 мА, поскольку постоянно поддерживает соединение с маршрутизатором. При активной передаче ESP-NOW потребление составляет 60–90 мА. Однако, в режиме ESP-NOW устройство может работать гораздо эффективнее, так как оно передает данные мгновенно и затем переходит в режим сна, в котором потребление энергии намного меньше и составляет 10–20 мкА (<https://microkontroller.ru/esp8266-projects/kak-ispolzovat-spyashhie-rezhimy-v-esp8266-dlya-energoberezhniya>).

Следовательно, для снижения потребляемой энергии в реализуемом устройстве используется четвертый режим: после завершения функций сбора и передачи данных устройство переходит в режим глубокого сна на определенный промежуток времени для сохранения энергии. Часы реального времени отсчитывают этот промежуток времени и затем пробуждают устройство, которое снова выполняет сбор и передачу данных, после чего снова переходит в спящий режим. Такое поведение осуществляется циклично.

Поток работы Node-RED

Для обработки и визуализации получаемых от датчиков сообщений используется визуальная среда разработки потоков данных Node-RED. На рисунке 3 представлена схема потока работы Node-RED, которая включает этапы получения данных с датчиков через протокол MQTT, обработку этих данных, и последующую визуализацию метрик в реальном времени. Разработанная схема выполняет ключевую роль в функционировании метеостанции, обеспечивая интеграцию сенсорных устройств с серверной частью системы, обработкой данных и их отображением.

Представленная на рисунке 3 схема потока работы Node-RED демонстрирует, как различные компоненты системы взаимодействуют друг с другом для обеспечения стабильной обработки и визуализации данных. Такой подход способствует гибкости и масштабируемости системы, позволяя легко адаптировать ее для работы с новыми устройствами или изменяющимися условиями эксплуатации.

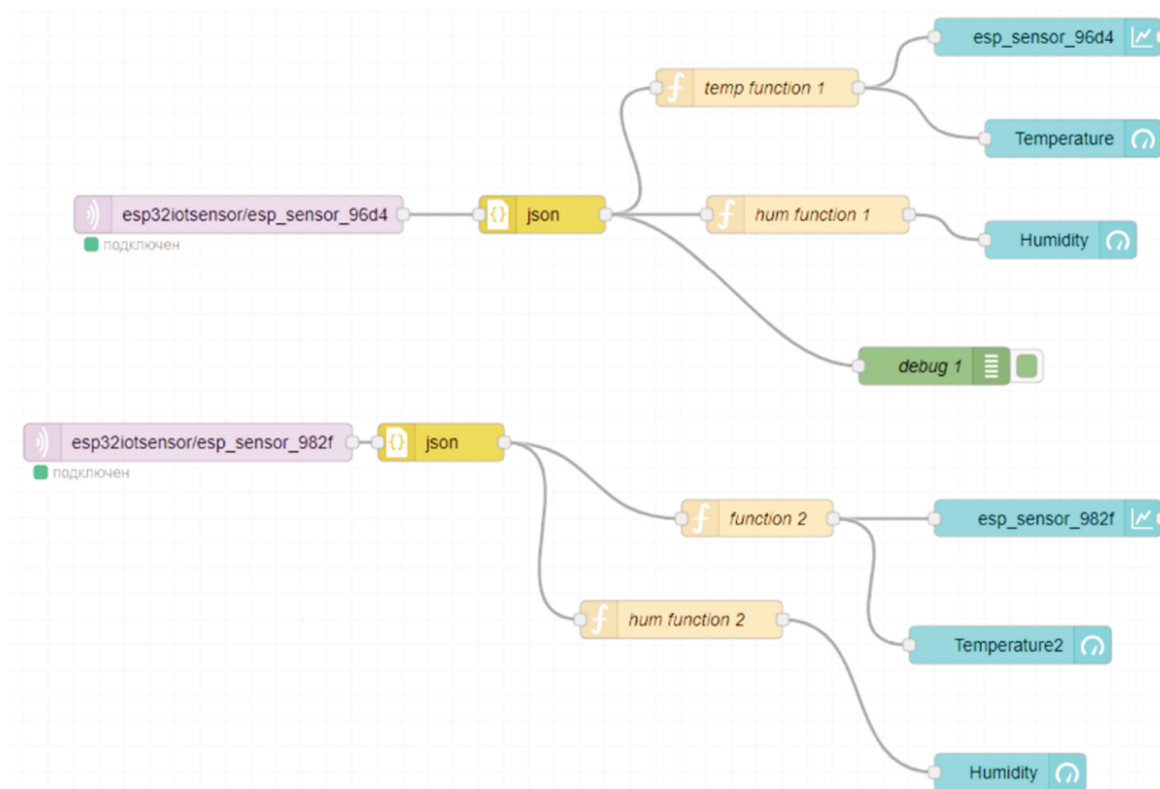


Рис. 3. Поток Node-RED

Результаты работы и визуализация метеостанции в Node-RED

На рисунке 4 представлена собранная в лабораторных условиях метеостанция. Аппаратная часть работы включает в себя компоненты, указанные в таблице 1, и предназначена для измерения климатических параметров, таких как температура и влажность. Устройство компактно, энергоэффективно и легко адаптируется для различных сценариев использования, благодаря продуманной конструкции и гибкости функционала микроконтроллеров. Собранная метеостанция представляет собой полностью функционирующее устройство, объединяющее аппаратные и программные решения, рассмотренные в рамках исследования. Данная реализация демонстрирует практическую применимость разработанных систем и их готовность к использованию в реальных условиях для мониторинга окружающей среды.

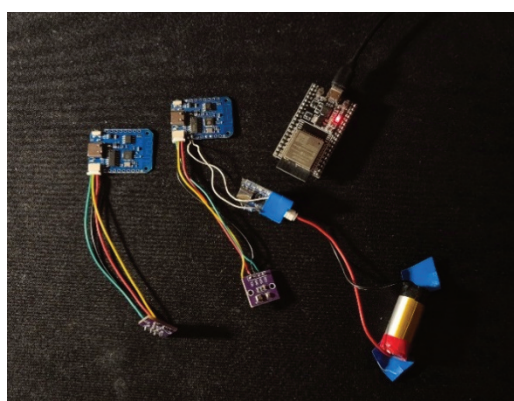


Рис. 4. Метеостанция, собранная на базе ESP32

На рисунке 5 представлена разработанная панель визуализации данных, получаемых в ходе работы метеостанции в среде Node-RED. Данная панель предоставляет удобный интерфейс для мониторинга текущих значений температуры и влажности, поступающих от сенсоров. Node-RED позволяет не только отображать данные в реальном времени, но и организовать дальнейшую обработку и анализ собранных параметров, делая интуитивно понятной их визуализацию для пользователей. Интерфейс можно легко масштабировать и адаптировать для других задач, что делает его универсальным инструментом для мониторинга и управления параметрами окружающей среды.

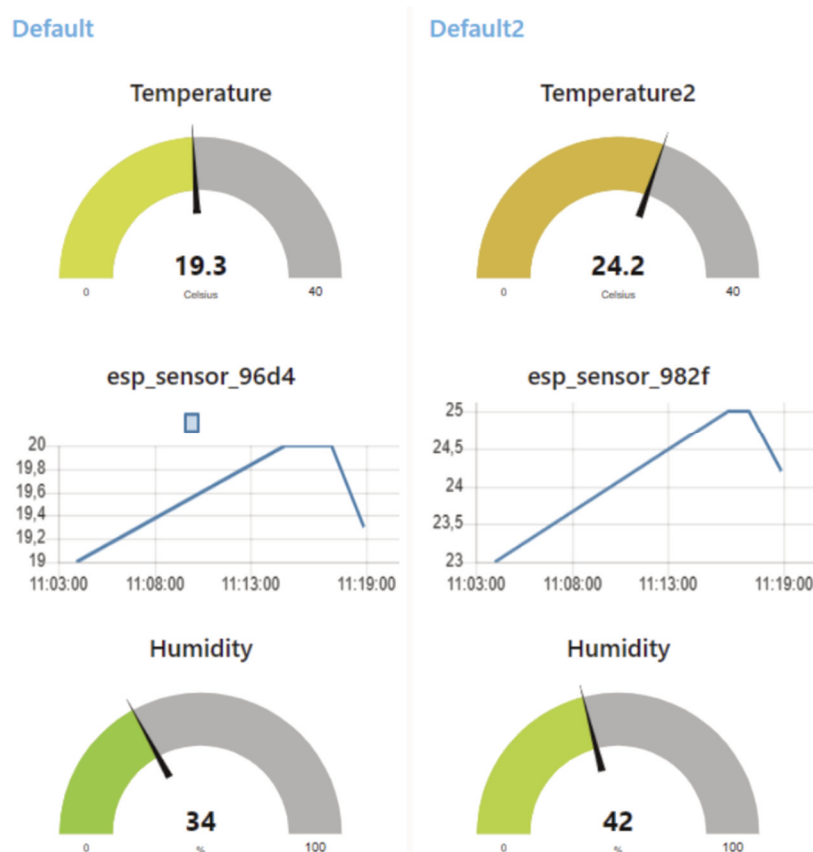


Рис. 5. Панель визуализации данных Node-RED

Выводы

В рамках проведенного исследования была разработана и собрана метеостанция на базе микроконтроллера ESP32 и ESP8266 с использованием датчиков температуры и влажности SHT31. Система включает в себя энергоэффективное аппаратное обеспечение, прошивку для управления потоком данных с датчиков, протокол ESP-NOW для беспроводной передачи данных, а также интеграцию с брокером MQTT для дальнейшего анализа и хранения данных.

Отображение показателей реализовано на панели визуализации данных среды Node-RED, что обеспечивает наглядное представление результатов мониторинга в режиме реального времени.

Элементами новизны работы являются энергоэффективный подход к реализации работы микроконтроллера, интеграция протокола ESP-NOW для оптимизации передачи данных и использование Node-RED для визуализации и обработки показателей в реальном времени. Аналогичные исследования чаще всего сосредотачиваются либо на использовании стандартных методов сбора и передачи данных, либо на менее энергоэффективных решениях, что ограничивает их применимость в условиях автономного функционирования.

В дальнейшем возможно расширение функциональности системы, с помощью подключения дополнительных типов сенсоров для мониторинга других параметров окружающей среды, оптимизацию работы системы в условиях низкого уровня сигнала и внедрение элементов машинного обучения для прогнозирования и анализа данных.

Авторы выражают благодарность всем, кто принимал участие в данной работе, а также отмечают важность полученного опыта для дальнейшего исследования интеллектуальных систем мониторинга.

Литература

1. Во В. А., Чинь Л. М., Май В. Х. Проектирование системы управления электроустройствами класса на базе платформы Amazon Iot и технологии ESP-NOW // II Международная научно-практическая конференция «Интеллектуальные транспортные системы» (Москва, Российская Федерация, 25 мая 2023 г.). М.: Российский университет транспорта, 2023. С. 80–89. DOI: 10.30932/9785002182794-2023-80-89. EDN: GODDGZ
2. Shilpa B., Radha R., Movva P. Comparative Analysis of Wireless Communication Technologies for IoT Applications // Proceedings of ICRTAC-AIT 2020 on Artificial Intelligence and Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering. Singapore: Springer, 2022. Vol. 806. PP. 383–394. DOI: 10.1007/978-981-16-6448-9_39
3. Pasic R., Kuzmanov I., Atanasovski K. ESP-NOW communication protocol with ESP32 // Challenges of the Future. 2021. Iss. 1. PP. 53–60. DOI: 10.37886/ip. 2021.019. EDN: RZNMKA

Статья поступила 19 октября 2023 г.

Одобрена после рецензирования 25 декабря 2023 г.

Принята к публикации 25 декабря 2023 г.

Информация об авторах

Миронов Кирилл Борисович – студент 1-го курса магистратуры (группа ИКПИ-492м) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: mironov.kb@sut.ru

Бандурин Никита Андреевич – студент 1-го курса магистратуры (группа ИКПИ-492м) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: bandurin.na@sut.ru

Шелухин Никита Михайлович – студент 1-го курса магистратуры (группа ИКПИ-492м) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: sheluhin.nm@sut.ru

Бобровский Вадим Игоревич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры программной инженерии и вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: bobrovskii.vi@sut.ru

Application of ESP-NOW Protocol to Improve Energy Efficiency of IoT Operation on the Example of Weather Station Development

Mironov K., Bandurin N., Shelukhin N., Bobrovskiy V.✉

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Problem Statement. In the conditions of the growing need for environmental monitoring, the creation of compact and energy-efficient meteorological stations for measuring microclimate parameters is an urgent task. Modern solutions often require high energy consumption and complex infrastructure, which limits their application in autonomous systems. **Purpose:** The aim of the work is to improve the energy efficiency of an autonomous weather station based on ESP32, providing temperature and humidity monitoring with real-time data visualisation. **Methods:** the autonomous weather station is built on a modular architecture including SHT31 sensor and ESP8266 microcontroller for metrics collection, ESP32 microcontroller for data processing and transmission via MQTT protocol, and Node-RED software platform for data visualisation. To ensure autonomy, an optimised power supply scheme is implemented using a lithium-ion battery, TP4056 charging module and ESP deep sleep mechanism. **Novelty:** in contrast to similar solutions, the presented weather station is highly energy-efficient and modularly flexible, allowing it to adapt to different usage scenarios. The use of energy saving combined with optimised data transmission via MQTT minimises energy costs and increases system stability. **Results:** A compact weather station with reliable data acquisition and transmission was developed and tested. Temperature and humidity parameters are displayed through an interactive data visualisation panel in Node-RED, providing graphs of changes and current metric values. The autonomy of the device is increased due to the energy saving mode and optimised power supply scheme, which allows the system to be used without frequent recharging. **Practical relevance:** the developed design can be used for microclimate monitoring in indoor environments, agricultural facilities and remote areas. The use of available components and open-source software makes the system cost-effective and easy to implement.

Keywords: weather station, microclimate, ESP32, MQTT protocol, Node-RED, data visualization, autonomous device, environmental monitoring, ESP-NOW

Information about Authors

Kirill Mironov – 1st Year Master's Student (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: mironov.kb@sut.ru

Nikita Bandurin – 1st Year Master's Student (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: bandurin.na@sut.ru

Nikita Shelukhin – 1st Year Master's Student (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: sheluhin.nm@sut.ru

Vadim Bobrovskiy – Dr. of Engineering Sciences, Professor, Professor at the Department of Program Engineering and Computer Science. Field of research: programming of the Internet of Things (The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: bobrovskii.vi@sut.ru