

ИССЛЕДОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦЫ

К. С. Курочка¹⁾, Ю. С. Башаримов²⁾

¹⁾канд. техн. наук, доцент

Гомельский государственный технический университет,
пр-т Октября, 48, 246746, г. Гомель, Беларусь, : kurochka@gstu.by

²⁾Гомельский государственный технический университет,
пр-т Октября, 48, 246746, г. Гомель, Беларусь, basharymauyury@gmail.com

В статье представлено решение по автоматизации управления микроклиматом в теплицах на основе Интернета вещей (IoT) и современных технологий. Предлагается архитектура системы, включающая сеть беспроводных датчиков, центральный управляющий модуль на базе одноплатного компьютера, исполнительные механизмы и веб-интерфейс. Рассматривается выбор беспроводного протокола для подключения датчиков, сравниваются варианты ZigBee, Bluetooth Low Energy, LoRaWAN и Wi-Fi. Описывается реализация ЦУМ на основе Linux, Python и Flask. Приводятся результаты тестирования экспериментальной системы с использованием BLE и выявленные ограничения. Обосновывается переход на протокол ZigBee для масштабируемой сети датчиков в тепличных хозяйствах.

Ключевые слова: умная теплица; интернет вещей; IoT; автоматизация микроклимата; беспроводные сенсорные сети; ZigBee; BLE; одноплатные компьютеры; Flask; Python; удаленный мониторинг.

Введение

Обеспечение оптимальных условий для выращивания растений в теплицах является ключевым фактором для получения высоких урожаев [1]. Традиционные методы контроля микроклимата часто неэффективны [2] и требуют значительных ресурсов.

Развитие Интернета вещей (IoT) и внедрение современных технологий открывают новые возможности для автоматизации процессов в теплицах. Использование датчиков, исполнительных механизмов и интеллектуальных систем управления позволяет создавать высокоэффективные автоматизированные решения для поддержания оптимального микроклимата.

Внедрение таких систем повысит урожайность, качество продукции, снизит затраты на ресурсы и повысит рентабельность тепличного производства. Разработка инновационных решений на основе IoT и автоматизации управления микроклиматом является актуальной задачей для современного сельского хозяйства.

Предлагаемая архитектура

Предлагается использовать следующую архитектуру (рис. 1).

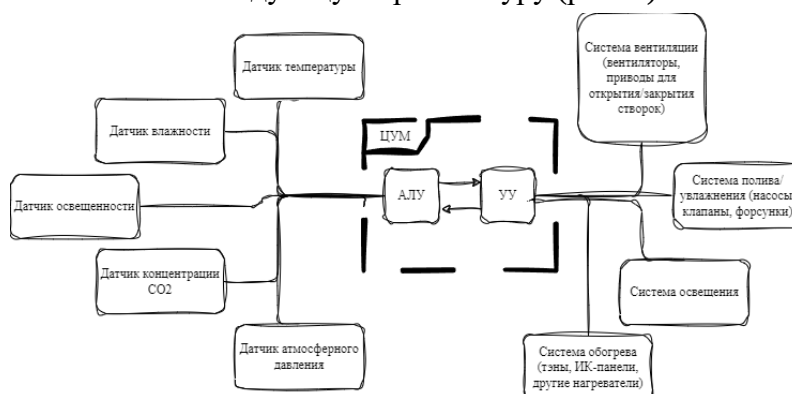


Рис. 1. Предлагаемая архитектура

Система состоит из сети датчиков, распределённых по территории теплиц. Датчики измеряют температуру и влажность воздуха, освещённость, концентрацию CO₂, влажность почвы и атмосферное давление. Данные от датчиков поступают на центральный управляющий модуль (ЦУМ). ЦУМ выполняет функции сбора данных и координации работы сети датчиков. Ключевым компонентом ЦУМ является арифметико-логическое устройство (АЛУ) – программное обеспечение, которое анализирует поступающие данные, сравнивает их с заданными параметрами микроклимата и принимает решения о необходимости изменения этих параметров. В соответствии с решениями АЛУ задействуются исполнительные механизмы через управляющее устройство (УУ): система полива, система обогрева, система вентиляции и система освещения. Исполнительные механизмы непосредственно регулируют параметры микроклимата в теплицах. Пользователь может задавать требуемые параметры микроклимата и настраивать алгоритмы работы системы через пульт управления или веб-интерфейс. Система обеспечивает возможность удалённого доступа и интеграцию с аналитическими инструментами для сбора, хранения и анализа данных.

Протоколы для связи

Выбор беспроводного протокола для связи датчиков является ключевым фактором при разработке системы автоматизированного управления микроклиматом в теплицах, так как от этого зависит выбор других компонентов, таких как ЦУМ и сами датчики.

При разработке такой системы крайне важно учитывать большую площадь теплиц, уже имеющееся большое количество датчиков, а также возможность дальнейшего увеличения их числа в будущем. Эти факторы, сравнения приведены в таблице, диктуют необходимость использования беспроводных протоколов для подключения датчиков, обеспечивающих масштабируемость, энергоэффективность и достаточную скорость передачи данных.

Сравнение протоколов передачи

Протокол	Дальность действия	Скорость передачи данных	Энергопотребление	Масштабируемость
ZigBee	До 100 м в помещении, до 300 м на открытом пространстве	До 250 Кбит/с	Очень низкое	До 65000 устройств в одной сети
BLE	До 50 м в помещении, до 150 м на открытом пространстве	До 1 Мбит/с	Низкое	До 8 устройств
LoRaWAN	В условиях прямой видимости 80-100 км	До 50 Кбит/с	Очень низкое	До 62000 устройств в одной сети
Wi-Fi	До 150 м на открытом пространстве, до 50 м в помещении	До 6,9 Гбит/с	Высокое	До 2000 устройств

Наиболее подходящим беспроводным протоколом для создания масштабируемой сети датчиков в тепличном хозяйстве является ZigBee [3] (IEEE 802.15.4). Он обеспечивает возможность создания самоорганизующихся mesh-сетей, достаточную скорость передачи данных телеметрии, низкое энергопотребление и относительно невысокую стоимость оборудования.

Bluetooth Low Energy (BLE) [4] имеет очень низкое энергопотребление, но ограниченную дальность действия (дальность действия BLE достигает 100 метров, но хорошо работает на расстоянии до 10 метров.) и плохую масштабируемость для больших сетей.

LoRaWAN [5] обеспечивает дальность более 15 км и сверхнизкое энергопотребление, но требует развёртывания инфраструктуры сети и имеет низкие скорости передачи данных.

Wi-Fi [6] характеризуется высоким энергопотреблением, ограниченной дальностью действия (50-150 метров) и подвержен влиянию препятствий.

Одним из ключевых преимуществ ZigBee является его широкое распространение и массовость, что делает его наиболее предпочтительным вариантом для создания систем мониторинга и управления микроклиматом в тепличных хозяйствах.

Центральный управляющий модуль

При проектировании системы автоматизированного управления микроклиматом в теплицах одним из ключевых компонентов является ЦУМ, который выполняет функции сбора данных от беспроводных датчиков и передачи команд исполнительным устройствам. В качестве аппаратной платформы для ЦУМ можно использовать одноплатные компьютеры на базе ARM [7] процессоров. Эти компактные и энергоэффективные устройства обладают достаточной производительностью для обработки данных от множества датчиков и управления исполнительными механизмами.

Для подключения модуля ZigBee к одноплатному компьютеру требуется совместимая плата расширения или модуль, такие как XBee, Digi XTend или решения на базе чипов Silicon Labs или Texas Instruments.

После выбора аппаратной платформы и модуля ZigBee необходимо определиться с операционной системой для ЦУМ. Здесь можно рассмотреть два основных варианта.

Home Assistant – специализированная ОС для «умного дома» и систем Интернета вещей с встроенной поддержкой ZigBee и других популярных протоколов. Преимущества: простота настройки и интеграции различных компонентов, готовый интерфейс для управления и мониторинга. Недостатки: ограниченные возможности расширения, кастомизации и хранения данных (возможна интеграция с InfluxDB для длительного хранения). Для аналитики данных требуется интеграция с сервисами аналитики и визуализации, такими как Google Analytics, Sentry, Grafana.

Другим вариантом является развёртывание Linux с Python на ARM-платформе, что обеспечивает максимальную гибкость, возможность полной кастомизации системы и доступ к обширному выбору библиотек для работы с ZigBee, таких как bellows или zigpy. Возможно построение системы как масштабируемого микросервиса. Однако требует больших усилий для настройки и интеграции отдельных компонентов на начальном этапе.

Кроме того, система может быть построена как микросервис для обеспечения масштабируемости. Однако данный подход требует больше усилий для настройки и интеграции отдельных компонентов системы.

Выбор между Home Assistant и Linux с Python зависит от требований к системе. Home Assistant подходит для создания относительно простой системы управления микроклиматом с базовым функционалом. Для более сложных и кастомизированных систем с расширенными возможностями интеграции и аналитики предпочтительнее вариант с Linux и Python, несмотря на большую сложность начальной настройки.

Тестирование

На этапе тестирования в одной из теплиц была развёрнута экспериментальная система автоматизированного управления микроклиматом (рис 2).

Тестовая система построена на базе одноплатного компьютера ASUS Tinker Board 2S с 6-ядерным процессором Rockchip RK3399 и операционной системой Linux.

Программная часть написана на языке Python с использованием библиотеки bluepy для взаимодействия с беспроводными датчиками. Программа анализирует поступающие данные, сравнивает их с заданными параметрами микроклимата и формирует команды для управления системами полива, обогрева, вентиляции и освещения в теплицах.

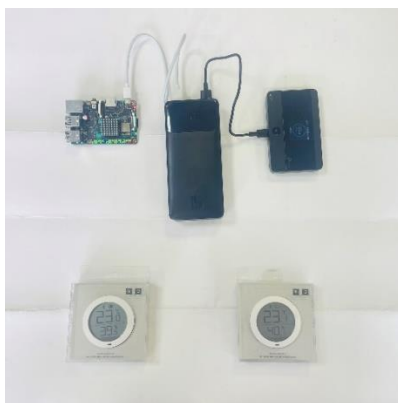


Рис. 2. Экспериментальная система

Через веб-интерфейс на основе Flask пользователь может задавать требуемые параметры микроклимата, просматривать показания датчиков (рис. 3) и статусы исполнительных механизмов.

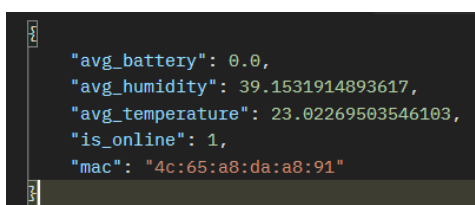


Рис. 3. Просмотр показаний датчиков

В качестве датчиков использовались устройства Xiaomi LYWSDCGQ/01ZM, которые по протоколу (BLE) передают показания температуры и влажности воздуха.

Для удалённого доступа к системе используется 4G роутер TP-Link M7350, имеющий собственный аккумулятор, обеспечивающий подключение через мобильные сети.

В качестве питания для одноплатного компьютера использовался внешний аккумулятор, позволяющий некоторое время работать автономно, кроме того, модем также поддерживался в состоянии зарядки. Так связка из модема, роутера и внешнего аккумулятора 20 А ёмкости может проработать около 20 часов.

Выводы

В ходе апробации экспериментальной системы автоматизированного управления микроклиматом в теплицах были выявлены ограничения использования беспроводного протокола BLE для подключения датчиков, такие как ограниченная дальность действия, радиопомехи, конфликты при передаче данных и нестабильность соединения, а также меньшее время автономной работы датчиков от батарей.

Для дальнейшего развёртывания систем мониторинга и управления микроклиматом в тепличных хозяйствах рекомендуется использовать беспроводной протокол ZigBee, обеспечивающий большую дальность действия, масштабируемые mesh-сети, низкое энергопотребление и лучшую производительность при одновременной передаче данных от многих устройств.

Остальные компоненты системы, такие как одноплатный компьютер, программирование на Python и Flask, применение 4G роутера и аккумуляторов, продемонстрировали свою эффективность и рекомендуются для дальнейшего использования с переходом на ZigBee для сети датчиков.

Библиографические ссылки

1. Kaur A., Sonawane V., Rosha P. Energy efficiency optimization strategies for greenhouse-based crop cultivation: A review // The Canadian Journal of Chemical Engineering: Ottawa, 1 March 2024 г. / Chemical Institute of Canada. Ottawa, 2024. P. 1051-1065.
2. Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture / R R Shamshiri [et al.] // Int J Agric & Biol Eng, 2018. P. 1-22.
3. Zigbee | Complete IOT Solution CSA-IOT [Electronic resource] / official website, 2024. URL: <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/> (date of access: 30.03.2024).
4. Bluetooth Technology Overview | Bluetooth® Technology Website [Electronic resource] / official website, 2024. URL: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/> (date of access: 30.03.2024).
5. Semtech LoRa Technology Overview | Semtech [Electronic resource] / official website, 2024. URL: <https://www.semtech.com/lora/> (date of access: 30.03.2024).
6. Wi-Fi Alliance [Electronic resource] / official website, 2024. URL: <https://www.wi-fi.org/> (date of access: 30.03.2024).
7. Kurachka K., Nestsiaenia I. Effective Algorithm for Object Detection in the Video Stream for ARM Architectures // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2019) : материалы международной научно-технической конференции, Минск, 21-23 февраля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: В. В. Голенков (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2019. С. 273-276.