

УНІВЕРСАЛЬНИЙ МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ІОТ ЗАСТОСУВАНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглядається концепція створення універсального мікропроцесорного засобу для IoT-застосувань, який поєднує високу продуктивність, енергоефективність та підтримку бездротових технологій. Проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку Інтернету речей, визначено вимоги до апаратної та програмної частини пристроїв. На основі порівняння архітектур ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico W та Arduino Nano 33 IoT обґрунтовано підхід до формування універсального вузла з підтримкою Wi-Fi та BLE.

Ключові слова: Інтернет речей, мікроконтролер, ESP32, STM32, IoT-пристрої.

Abstract

The paper discusses the concept of creating a universal microprocessor device for IoT applications, combining high performance, energy efficiency, and wireless connectivity. The current trends of IoT development are analyzed, and the requirements for hardware and software parts are identified. Based on the comparison of ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico W, and Arduino Nano 33 IoT architectures, an approach to developing a universal node with Wi-Fi and BLE support is proposed.

Keywords: Internet of Things, microcontroller, ESP32, STM32, IoT devices.

Вступ

Стрімка цифрова трансформація зумовлює інтеграцію «розумних» пристроїв у побутові, промислові та освітні середовища. Концепція Інтернету речей (Internet of Things, IoT) утворює багаторівневу екосистему, у якій сенсори та виконавчі пристрої взаємодіють через мережеві протоколи, а отримані дані опрацьовуються як на периферії, так і у хмарних сервісах. Прогнозується, що кількості підключених об'єктів сягне десятків мільярдів уже в найближчі роки, що суттєво підвищує вимоги до універсальності, енергоефективності та надійності базових апаратних засобів [1].

В українському контексті IoT-технології стають інструментом енергоощадності, моніторингу середовища й автоматизації навчальних процесів. Практичні сценарії — від вимірювання мікроклімату аудиторій та керування освітленням до лабораторних стендів для вивчення мережевих протоколів — потребують єдиної апаратно-програмної основи, яку можна адаптувати без повної зміни архітектури. За цих умов доцільним є формування універсального мікропроцесорного засобу, що поєднує достатню обчислювальну потужність, інтегровані бездротові інтерфейси, апаратні механізми безпеки та підтримку стандартних шин і протоколів (UART, I²C, SPI; MQTT/HTTPS).

Серед доступних рішень особливу увагу привертають платформи з високим рівнем інтеграції та відкритою екосистемою розробки. Зокрема, ESP32 поєднує двоядерну архітектуру з вбудованими модулями Wi-Fi/BLE, що робить його кандидатом на роль універсального ядра вузла [2]. Arduino Nano 33 IoT, у свою чергу, пропонує просту інтеграцію з хмарними сервісами та апаратний криптомодуль для автентифікації, що є важливим для безпечної експлуатації у відкритих мережах [3].

Метою даного дослідження є обґрунтування архітектури універсального мікропроцесорного засобу для IoT-застосувань, який забезпечуватиме сумісність із різними сенсорними модулями, підтримку захищеної бездротової комунікації та можливість довготривалої автономної роботи. Для досягнення мети передбачається визначити критерії вибору мікроконтролерної основи з урахуванням співвідношення продуктивності та енергоефективності, розробити структурну схему апаратної частини з уніфікованими

інтерфейсами та запропонувати підхід до програмної абстракції периферії, мережевих стеків і механізмів оновлення прошивки «по повітрю».

Основна частина

Універсальний засіб має забезпечувати масштабованість та модульність: апаратна частина повинна допускати швидку заміну сенсорних модулів, а програмна — використовувати абстракції драйверів та стандартні протоколи публікації-підписки для інтеграції з хмарою. Концепція універсального вузла спирається також на підходи до побудови «універсальних плат розумного дому», де закладаються стандартизовані роз'ємні інтерфейси та чітке розділення функцій живлення, зв'язку й обробки даних [4].

Відповідно базова архітектура універсального вузла має поєднувати мікроконтролерне ядро, підсистему живлення з підтримкою низькоспоживчих режимів, бездротові інтерфейси та розширювану сенсорно-акторну шину. Вибір мікроконтролера визначає доступний обсяг пам'яті, типи периферії, пропускну здатність і сценарії енергокерування. У цьому контексті платформи ESP32 і Arduino Nano 33 IoT доповнюють одна одну: перша — за рахунок продуктивності та бездротових інтерфейсів на борту, друга — завдяки екосистемі, що полегшує входження в розробку і містить апаратні засоби безпеки для TLS-з'єднань [2, 3]. ESP32, як двоядерна платформа із вбудованими Wi-Fi/BLE, забезпечує конкурентне поєднання високої продуктивності та низького енергоспоживання, підтримує багатотредовість через FreeRTOS і має достатню кількість інтерфейсів для під'єднання сенсорів і дисплеїв [2]. Arduino Nano 33 IoT, базуючись на SAMD21 та модулі зв'язку NINA-W102, пропонує апаратну підтримку криптографії (ATECC608A) для зберігання ключів і реалізації автентифікованих з'єднань, що критично для безпеки обміну даними з хмарними сервісами [3].

Підсистема збору даних (сенсорний вузол) об'єднує набір датчиків, призначених для моніторингу навколишнього середовища. До неї входять комбінований сенсор BME280 (температура, вологість, тиск) та сенсор освітленості BH1750. Для їх підключення використовується шина I2C (Inter-Integrated Circuit). Підсистема забезпечення точного часу та локального зберігання реалізується на інтегральному годиннику реального часу (RTC) DS3231, який також підключається через шину I2C та забезпечуватиме надання точних часових міток для всіх вимірювань, незалежно від наявності живлення чи підключення до Інтернету. Для локального логування даних (буферизації у разі відсутності зв'язку) використовується MicroSD-карта, яка підключається через високошвидкісну шину SPI (Serial Peripheral Interface).

Підсистема взаємодії та керування включає компоненти для діалогу з користувачем та керування зовнішніми навантаженнями. До неї входить OLED-дисплей (підключений через I2C) та MOSFET-ключі (силові виходи), що керуються безпосередньо через цифрові виводи GPIO мікроконтролера. Сюди ж належить розширювач портів MCP23017 (I2C), який надає додаткові лінії GPIO у випадку, якщо вбудованих виводів Nano ESP32 виявиться недостатньо для всіх завдань.

Підсистема бездротової комунікації повністю інтегрована в центральний вузол ESP32-S3. Вона складається з вбудованого Wi-Fi 802.11 b/g/n трансивера для підключення до хмарних сервісів (MQTT) та Bluetooth LE 5.0 трансивера для локального налаштування та моніторингу.

Підсистема живлення та програмування забезпечує автономну роботу модуля. Вона складається з Li-Po акумулятора, контролера заряду (наприклад, BQ2057TTS) та стабілізатора напруги (LDO, наприклад, ADP3338), що формує необхідні рівні живлення 3.3 В для всіх компонентів. Ця ж підсистема включає USB-UART конвертер (на базі FT232 або вбудованого в ESP32-S3), який слугує для зарядки акумулятора від порту USB та для програмування (прошивки) мікроконтролера.

Висновки

Обрана технічна парадигма дозволить скоротити витрати на розроблення й підтримку, уніфікувати процес інтеграції з різними датчиками, підвищити повторне використання компонентів і зменшити бар'єр входу для освітніх і дослідницьких проєктів.

Очікується, що запропонований підхід забезпечить створення базової платформи для широкого спектра застосувань: від навчальних лабораторних стендів із демонстрацією мережевих протоколів і систем енергоменеджменту в аудиторіях до побутових систем контролю мікроклімату та промислових вузлів

моніторингу. Такий підхід узгоджується з глобальною динамікою ринку IoT і відповідає вимогам до масштабованих, стійких і економічно ефективних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Statista. Number of Internet of Things (IoT) Connected Devices Worldwide from 2019 to 2030 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/> – Дата звернення: 14.10.2025.
2. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf – Дата звернення: 14.10.2025.
3. Arduino AG. Arduino Nano 33 IoT Overview and Technical Details [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-33-iot> – Дата звернення: 14.10.2025.
4. ResearchGate. Design of Universal Hardware Node Board for Smart-Home Automation and the IoT [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/376245978_Design_of_Universal_Hardware_Node_Board_for_Smart-Home_Automation_and_the_IoT – Дата звернення: 14.10.2025.

Ткаченко Роман Віталійович – студент групи 1KI-24м, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tkachenkoroman03@gmail.com

Тарновський Микола Геннадійович — кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: ntarn@vntu.edu.ua

Tkachenko Roman Vitaliiiovych – student of group 1KI-24m, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tkachenkoroman03@gmail.com

Tarnovskyi Mykola Hennadiiovych — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ntarn@vntu.edu.ua