

COMPARATIVE ANALYSIS OF ARDUINO, STM32 AND ESP32 PLATFORMS FOR AUTONOMOUS SENSOR SYSTEMS

Oleksandr Muntian

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

Ukraine, 39600, Kremenchuk, Universytetska St., 20

E-mail: sashamuntyan2019@gmail.com

Abstract: this paper presents a comparative analysis of Arduino, STM32, and ESP32 microcontroller platforms for use in autonomous sensor systems. The study focuses on architectural features, computational capabilities, power consumption, and suitability for long-term autonomous operation. An experimental evaluation of current consumption in typical operating modes, including active processing, idle state, and deep sleep, is performed under identical conditions. The results demonstrate significant differences between the platforms in terms of energy efficiency and system scalability. Based on the obtained data, practical recommendations for selecting an appropriate platform depending on the application requirements are proposed.

Key words: Arduino, STM32, ESP32, autonomous sensor systems, microcontrollers, power consumption, comparative analysis.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПЛАТФОРМ ARDUINO, STM32 ТА ESP32 ДЛЯ АВТОНОМНИХ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ

Олександр Мунтян

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Україна, 39600, м. Кременчук, вул. Університетська, 20

E-mail: sashamuntyan2019@gmail.com

Анотація: у статті виконано порівняльний аналіз мікроконтролерних платформ Arduino, STM32 та ESP32 у контексті їх використання в автономних сенсорних системах. Розглянуто архітектурні особливості, обчислювальні можливості, енергоспоживання та підтримку режимів енергозбереження. Проведено експериментальне дослідження споживання струму в типових режимах роботи сенсорних пристроїв за однакових умов. Показано, що вибір мікроконтролерної платформи істотно впливає на автономність, ефективність обробки даних і можливість масштабування сенсорних систем. На основі отриманих результатів сформульовано практичні рекомендації щодо доцільності використання кожної платформи залежно від поставлених завдань.

Ключові слова: Arduino, STM32, ESP32, автономні сенсорні системи, мікроконтролери, енергоспоживання, порівняльний аналіз.

Автономні сенсорні системи широко застосовуються у сфері моніторингу довкілля, охорони периметрів, “розумних” інфраструктур та Інтернету речей. Ключовим елементом таких систем є мікроконтролер, який виконує функції збору, обробки та передавання даних від сенсорів.

Серед найбільш поширених платформ для реалізації сенсорних вузлів виділяють Arduino, STM32 та ESP32. Кожна з них орієнтована на різні класи задач — від навчального прототипування до професійних та IoT-застосувань. Неправильний вибір платформи може призвести до надмірного енергоспоживання або необґрунтованого ускладнення апаратної й програмної частин системи.

Метою даної роботи є порівняльний аналіз зазначених платформ з точки зору їх придатності для автономних сенсорних систем.

Розглянемо загальні характеристики мікроконтролерних платформ.

Платформа Arduino (наприклад, Arduino Uno) базується на 8-бітному мікроконтролері ATmega328P і орієнтована на простоту використання. Вона широко застосовується в освітніх і демонстраційних проєктах.

Основні особливості:

- проста програмна модель;
- велика кількість готових бібліотек;
- обмежені обчислювальні ресурси;
- відсутність вбудованих бездротових інтерфейсів.

Мікроконтролери сімейства STM32 побудовані на 32-бітній архітектурі ARM Cortex і призначені для професійних та промислових застосувань.

Характерні риси:

- висока продуктивність;
- розвинена периферія;
- наявність кількох режимів low-power;
- гнучке керування тактовими доменами та живленням.

ESP32 є 32-бітною мікроконтролерною платформою з вбудованими модулями Wi-Fi та Bluetooth, що робить її привабливою для IoT-систем.

Основні характеристики:

- двоядерна архітектура;
- високі обчислювальні можливості;
- апаратна підтримка бездротового зв'язку;
- складні режими енергозбереження.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз технічних характеристик

Параметр	Arduino Uno	STM32F103	ESP32
Архітектура	8-біт	32-біт ARM	32-біт
Тактова частота	16 МГц	до 72 МГц	до 240 МГц
ОЗП	2 КБ	20 КБ	>500 КБ
Flash-пам'ять	32 КБ	до 128 КБ	до 4 МБ
Бездротові інтерфейси	Немає	Зовнішні	Wi-Fi, Bluetooth
Режими low-power	Обмежені	Розширені	Наявні

Експериментальне дослідження проводилося з метою оцінювання енергоспоживання платформ у типових режимах роботи автономних сенсорних систем. Усі платформи працювали за однаковим алгоритмом та живилися від джерела напругою 3,3 В.

Вимірювання струму здійснювалося в таких режимах:

- режим очікування;
- активна обробка даних;
- режим глибокого сну.

Результати експерименту

Режим роботи	Arduino Uno	STM32F103	ESP32
Очікування	~12 мА	~4 мА	~20 мА
Активний режим	~110 мА	~30 мА	~80 мА
Глибокий сон	~3 мкА	~30 нА	~10 мкА

Отримані результати демонструють суттєві відмінності між платформами, особливо в режимах низького енергоспоживання.

Arduino є зручною платформою для навчання та швидкого прототипування, однак обмежені режими енергозбереження знижують її ефективність у довготривалих автономних системах.

STM32 забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю та енергоефективністю, що робить її доцільною для автономних сенсорних вузлів із тривалим часом роботи.

ESP32 вирізняється високою обчислювальною потужністю та вбудованими бездротовими інтерфейсами, проте потребує складнішого керування живленням для досягнення прийнятної автономності.

ВИСНОВКИ. У роботі виконано порівняльний аналіз мікроконтролерних платформ Arduino, STM32 та ESP32 для автономних сенсорних систем. Показано, що Arduino доцільно використовувати переважно в навчальних і демонстраційних проєктах, STM32 - у енергоефективних автономних системах, а ESP32 - в IoT-пристроях з бездротовою передачею даних. Вибір платформи має базуватися на вимогах до автономності, продуктивності та функціональності системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Banzi M. Getting Started with Arduino. O'Reilly Media.
2. STMicroelectronics. STM32 Reference Manuals.
3. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual.
4. Yick J., Mukherjee B., Ghosal D. Wireless sensor network survey. Computer Networks, 2008.
5. Mustafa, S. K., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Lyashenko, V. (2022). HMI Development Automation with GUI Elements for Object-Oriented Programming Languages Implementation. SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology, 70(1), 139-145.
6. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., & Ahmad, M. A. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive Cyber-Design CPPS Development. Advances in Dynamical Systems and Applications, 16(2), 441-455.
7. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. International Journal of Crowd Science, 9(1), 29-43.
8. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services Technologies and Smart Health Care. International Journal of Crowd Science, 9(2), 110-125.
9. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gopejenko, V., & Kosenko, V. (2025). DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL SUPPORT FOR ADAPTIVE CONTROL FOR THE INTELLIGENT GRIPPER OF THE COLLABORATIVE ROBOT MANIPULATOR. Advanced Information Systems, 9(3), 57–65. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2025.3.07>
10. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Artiukh, R. (2025). Mathematical model of adaptive hierarchical high-level control of a three-link collaborative robot-manipulator. INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES, (2(32), 58–68. <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.2.058>
11. Abu-Jassar A. Building a Route for a Mobile Robot Based on the BRRT and A*(H-BRRT) Algorithms for the Effective Development of Technological Innovations / Amer Abu-Jassar, Hassan Al-Sukhni, Yasser Al-Sharo, S. Maksymova, V. Yevsieiev, V. Lyashenko // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2024. – V. 72(11). – P. 294-306.