



---

**Комп'ютерні технології та системи**

---

Прийнято 19.04.2026. Прорецензовано 09.05.2026. Опубліковано 30.05.2026.

УДК 004.65

DOI: 10.31471/1993-9981-2026-1(56)-208-217

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ТА  
МІНІКОМП'ЮТЕРІВ У ІОТ-СИСТЕМАХ****Луцак Д. Л.**

Старший викладач кафедри інформаційних технологій

Університет Короля Данила 76018, вул. Коновальця, 35, м. Івано-Франківськ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-9496-3542>

e-mail: d.l.lutsak@gmail.com

**Анотація.** У статті розглянуто технологічні особливості використання мікроконтролерів та мінікомп'ютерів у сучасних системах Інтернету речей (IoT). Актуальність дослідження обумовлена стрімким розвитком цифрових технологій, збільшенням кількості підключених пристроїв та необхідністю створення ефективних, надійних і масштабованих апаратно-програмних платформ для збору, передавання та обробки даних. Проведено аналіз архітектурних особливостей мікроконтролерів і мінікомп'ютерів, визначено їх функціональні можливості, переваги та обмеження в контексті побудови IoT-систем різного призначення. Особливу увагу приділено дослідженню технічних характеристик сучасних мікроконтролерів, зокрема сімейств Arduino, ESP32, STM32 та інших популярних платформ. Проаналізовано роль мікроконтролерів у реалізації периферійних вузлів IoT-мереж, що забезпечують первинний збір та попередню обробку інформації. Окремо досліджено можливості мінікомп'ютерів, зокрема Raspberry Pi, Orange Pi та інших одноплатних комп'ютерів, які використовуються як локальні сервери, шлюзи передачі даних та платформи для виконання складніших алгоритмів обробки інформації. Визначено особливості використання операційних систем, мережесервісів, хмарних технологій та засобів віддаленого адміністрування в IoT-інфраструктурі. Наведено порівняльний аналіз технічних параметрів мікроконтролерів і мінікомп'ютерів за критеріями продуктивності, енергоефективності, вартості, масштабованості та можливостей програмної реалізації. Розглянуто основні протоколи передачі даних, а також особливості їх інтеграції з сучасними апаратними платформами. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації сучасних інформаційно-керуючих систем, орієнтованих на концепцію Інтернету речей, а також для вибору оптимальних апаратних платформ залежно від вимог конкретних прикладних задач.

**Ключові слова:** Інтернет речей (IoT), мікроконтролер, мінікомп'ютер, вбудовані системи, сенсорні мережі, обробка даних, інформаційна безпека, хмарні технології, розумні пристрої.

---

Запропоноване посилання: Луцак, Д. Л. (2026). Технологічні особливості мікроконтролерів та мінікомп'ютерів у IoT-системах. *Методи та прилади контролю якості*, 1(56), 13-28. doi: 10.31471/1993-9981-2026-1(56)-208-217

\* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## Вступ

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується стрімким поширенням концепції Інтернету речей (Internet of Things, IoT), яка передбачає об'єднання фізичних об'єктів у єдину інформаційно-комунікаційну мережу. Такі об'єкти оснащуються вбудованими засобами збору, обробки та передавання даних, що забезпечує їх взаємодію між собою та із зовнішнім середовищем без безпосереднього втручання людини. Завдяки цьому IoT-технології стають важливим інструментом цифрової трансформації промисловості, транспорту, енергетики, медицини, сільського господарства та систем «розумного» будинку.

Ідея створення глобальної мережі взаємопов'язаних пристроїв бере свій початок ще на початку ХХ століття. Одним із перших передбачень концепції Інтернету речей вважають висловлювання Ніколи Тесли у 1926 році про можливість об'єднання різноманітних пристроїв у єдину інформаційну систему. Практичне втілення цієї ідеї розпочалося у 1990 році, коли було створено один із перших пристроїв, підключе-

них до мережі Інтернет, а в 1999 році Кевін Ештон запропонував термін «Інтернет речей», який надалі став загальноновизнаним у науковому та технічному середовищі.

Розвиток IoT супроводжується постійним зростанням кількості підключених пристроїв та обсягів даних, що генеруються ними.

Розмір світового промислового ринку Інтернету речей оцінювався в 320,9 млрд доларів США в 2022 році і, як очікується, досягне близько 1 562,35 млрд доларів США до 2032 року із зареєстрованим середньорічним темпом зростання (CAGR) в 17,2% протягом прогнозованого періоду з 2023 по 2032 рік. — Precedence Research.

Станом на 2023 рік, США, Китай, Японія, Південна Корея та Німеччина будуть топ-5 країнами для IoT. Ці країни мають найбільшу кількість IoT-пристроїв, а також найбільші IoT-ринки. — Vutebeam. Інтернет речей має потенціал генерувати від \$4 трлн до \$11 трлн економічної вартості до 2025 року. — McKinsey (рис. 1).

Основу функціонування таких систем становлять технології ідентифікації пристроїв, засоби вимірювання параметрів на-

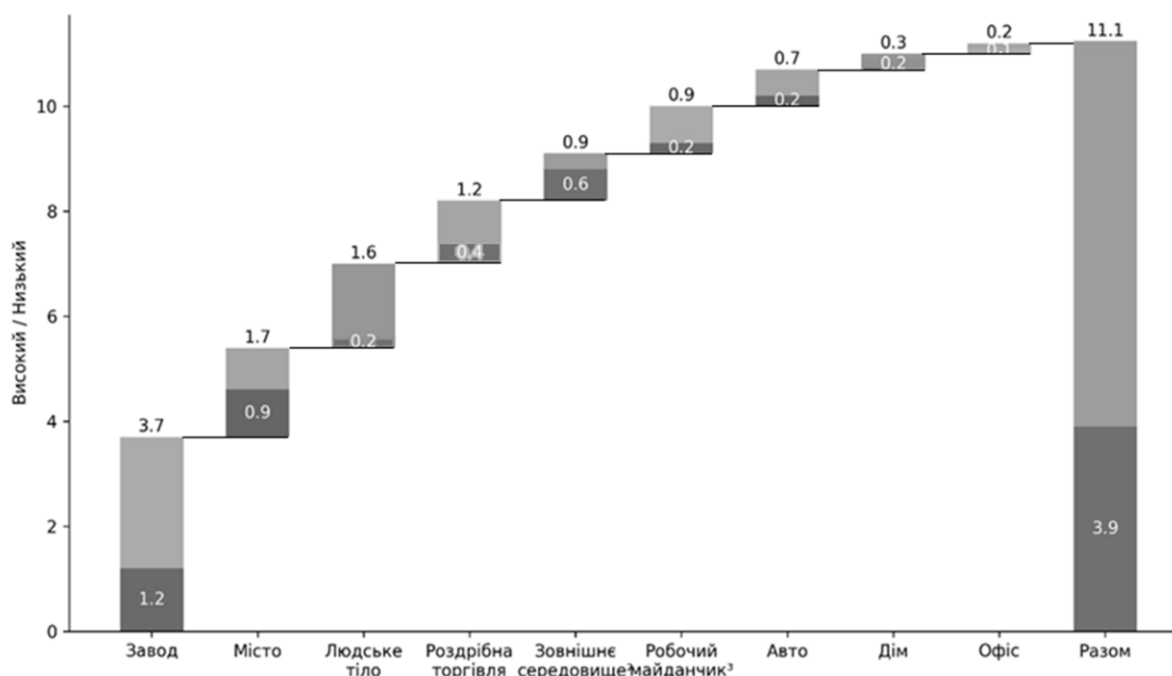


Рисунок 1 – Ринок Інтернету Речей. Лише для масштабованих застосувань.

Значення не підсумовуються точно до загального через округлення.

Категорія *зовнішнє середовище* включає зовнішні середовища, за винятком міських умов.

Категорія *робочий майданчик* визначається як індивідуальні виробничі середовища

(джерело McKinsey)

вколишнього середовища, технології передачі даних та протоколи взаємодії між компонентами мережі. Реалізація цих функцій неможлива без використання спеціалізованих апаратних платформ, серед яких особливе місце займають мікроконтролери та мінікомп'ютери.

Мікроконтролери забезпечують збір даних від датчиків, керування виконавчими пристроями та виконання локальної обробки інформації при мінімальному енергоспоживанні. Мінікомп'ютери, у свою чергу, мають вищу обчислювальну потужність і можуть використовуватися для реалізації мережевих сервісів, шлюзів передачі даних, локальних серверів та систем аналітичної обробки інформації. Вибір між мікроконтролерами та мінікомп'ютерами залежить від вимог до продуктивності, енергоефективності, вартості та функціональних можливостей конкретної IoT-системи. У зв'язку зі зростанням кількості пристроїв Інтернету речей та розширенням сфер їх застосування актуальним є дослідження технологічних особливостей сучасних апаратних платформ, їх переваг, недоліків та можливостей використання в різних сценаріях побудови IoT-систем.

**Метою роботи** є аналіз технологічних особливостей мікроконтролерів та мінікомп'ютерів, дослідження їх функціональних можливостей, порівняння технічних характеристик і визначення доцільності використання цих апаратних платформ при проектуванні сучасних систем Інтернету речей.

### **Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій**

Стрімкий розвиток концепції Інтернету речей (IoT) сприяв активному дослідженню апаратних платформ, що використовуються для побудови розподілених інформаційно-керуючих систем. Значна кількість сучасних досліджень присвячена аналізу архітектури IoT, принципів взаємодії пристроїв, особливостей обробки даних та використання мікроконтролерів і мінікомп'ютерів як базових компонентів таких систем.

У роботах [1, 2] наведено загальний огляд концепції Інтернету речей, основних архітектурних рівнів IoT-систем, протоколів взаємодії пристроїв та перспектив розвитку технології. Автори відзначають, що основою функціонування сучасних IoT-рішень є використання великої кількості периферійних пристроїв із вбудованими обчислювальними ресурсами, які забезпечують збір та передачу інформації в реальному масштабі часу.

Особливості використання одноплатних мінікомп'ютерів Raspberry Pi у системах Інтернету речей розглянуто у працях [3, 4]. Дослідники зазначають, що Raspberry Pi поєднує достатню обчислювальну потужність, низьке енергоспоживання та підтримку сучасних операційних систем, що робить його ефективною платформою для реалізації шлюзів передачі даних, локальних серверів та центрів обробки інформації в IoT-мережах.

У роботах [5, 6] досліджуються питання практичного використання Raspberry Pi для створення систем автоматизації та моніторингу. Автори демонструють можливість реалізації інтелектуальних систем керування побутовими пристроями, віддаленого збору даних та інтеграції сенсорних мереж із хмарними сервісами. Отримані результати підтверджують доцільність використання мінікомп'ютерів для побудови гнучких IoT-платформ.

Проблематика використання відкритих апаратних платформ для IoT-систем розглядається у роботі [7]. Автори виконують порівняльний аналіз популярних рішень, серед яких Arduino, ESP32 та Raspberry Pi, та підкреслюють важливість правильного вибору апаратної платформи залежно від вимог до продуктивності, енергоефективності та вартості проекту.

Особливу увагу сучасні дослідники приділяють використанню мікроконтролерів ESP32 у системах Інтернету речей. У роботі [8] показано можливість побудови низьковартісних IoT-систем диспетчеризації та моніторингу на основі ESP32 із використанням відкритих програмних платформ. Автори відзначають високий рівень інтеграції бездротових інтерфейсів та мож-

ливість реалізації складних мережевих функцій без застосування додаткового обладнання.

Огляд сучасних напрямів використання Raspberry Pi у різних прикладних сферах представлено у роботі [9]. Проведений аналіз свідчить про широке застосування таких пристроїв у транспортних системах, медицині, сільському господарстві та промисловій автоматизації. При цьому Raspberry Pi розглядається як універсальна платформа для реалізації периферійних обчислень та локальної аналітичної обробки даних.

Питання інформаційної безпеки IoT-пристроїв досліджуються у роботі [10]. Авторами встановлено, що використання мінікомп'ютерів у мережевому середовищі потребує впровадження додаткових механізмів захисту від несанкціонованого доступу, мережевих атак та шкідливого програмного забезпечення. Отримані результати підтверджують необхідність врахування аспектів кібербезпеки під час проектування сучасних IoT-систем.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що мікроконтролери та мінікомп'ютери є ключовими апаратними компонентами Інтернету речей. Мікроконтролери забезпечують енергоефективне виконання задач збору та первинної обробки даних, тоді як мінікомп'ютери реалізують функції мережевої взаємодії, локальних обчислень і керування системою. Разом із тим актуальними залишаються питання оптимального вибору апаратних платформ, підвищення рівня інформаційної безпеки, масштабованості та інтеграції IoT-пристроїв із хмарними сервісами.

### **Особливості побудови IoT систем**

Системи віддаленого моніторингу та керування є важливою складовою сучасних інформаційно-керуючих технологій. Вони призначені для збору, передачі, обробки та аналізу даних про стан об'єкта спостереження, а також для реалізації дистанційного керування його роботою. Такі системи належать до класу телеметричних систем і забезпечують передачу інформації від контрольованого об'єкта до користува-

ча або диспетчера, який здійснює моніторинг та приймає управлінські рішення. Для обміну даними можуть використовуватися різні канали зв'язку, зокрема мережа Інтернет, мобільні технології GPRS/4G/5G, супутникові канали зв'язку, а також служби електронних повідомлень. Обробка, зберігання та розподіл інформації зазвичай здійснюються за допомогою серверних або хмарних платформ.

Перші системи віддаленого моніторингу та керування набули поширення у 1990-х роках разом із розвитком персональних комп'ютерів і мережевих технологій. На початкових етапах вони базувалися переважно на програмних рішеннях, що дозволяли отримувати, відображати та архівувати дані з контрольованих об'єктів. Більшість таких систем створювалися під конкретні завдання та мали індивідуальний характер реалізації. Відсутність єдиних стандартів і протоколів обміну даними суттєво обмежувала можливість інтеграції різних систем між собою.

Використання технологій віддаленого моніторингу забезпечує низку переваг, серед яких безперервний контроль параметрів об'єкта, оперативне отримання інформації про його стан, швидке виявлення несправностей та можливість дистанційного втручання в роботу системи. Наприклад, у разі виникнення аварійної ситуації оператор може отримати відповідне повідомлення та виконати віддалене перезавантаження або коригування режимів роботи обладнання без необхідності фізичної присутності на об'єкті.

На сучасному етапі розвитку цифрових технологій особливої актуальності набувають питання автоматизації процесів моніторингу та керування. Автоматизація дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити надійність функціонування обладнання та покращити ефективність використання ресурсів. Водночас важливою вимогою є забезпечення взаємодії між різними автоматизованими системами та пристроями, що працюють у єдиному інформаційному середовищі.

Однією з найбільш перспективних концепцій, що забезпечує таку взаємодію,

є Інтернет речей (Internet of Things, IoT). Інтернет речей являє собою глобальну мережу фізичних та віртуальних об'єктів, оснащених вбудованими засобами обчислення, сенсорами, виконавчими механізмами та мережевими інтерфейсами. Такі пристрої здатні автоматично збирати інформацію про власний стан або параметри навколишнього середовища, здійснювати її обробку, обмінюватися даними між собою та виконувати певні дії без безпосереднього втручання людини.

Основною ідеєю концепції IoT є створення інтелектуального середовища, у якому різноманітні пристрої, обладнання, транспортні засоби, елементи виробничих процесів та побутові об'єкти можуть взаємодіяти між собою через мережу Інтернет. Для цього використовуються мікроконтролери, мінікомп'ютери, датчики, засоби бездротового зв'язку та спеціалізоване програмне забезпечення. Завдяки такому підходу забезпечується автоматизований збір даних, їх аналіз та прийняття рішень у реальному масштабі часу.

Сьогодні більшість IoT-рішень функціонують у вигляді окремих спеціалізованих мереж, призначених для виконання конкретних завдань (рис. 2). Наприклад, у сучасних транспортних засобах використовуються окремі мережі для керування двигуном, системами безпеки, навігацією та мультимедійними сервісами. Аналогічно в житлових і промислових будівлях функціонують незалежні системи керування освітленням, вентиляцією, опаленням, безпекою та контролем доступу. Подальший розвиток Інтернету речей передбачає інтеграцію таких мереж у єдині інформаційні платформи, що забезпечуватимуть підвищення рівня автоматизації, ефективності управління, інформаційної безпеки та аналітичних можливостей.

Прикладом впровадження такої концепції може бути система «розумний будинок» [11], яка вже застосовується у країнах Європи. Fibaro (рис. 3), система автоматизації будівель, заснована на бездротовій технології передачі даних Z-wave. Мініатюрні модулі можуть бути встановлені за будь-яким вимикачем світла або побутовим приладом.



Рисунок 2 – Архітектура Інтернет речей



Рисунок 3 – Інтерфейс Home Center 2

Завдяки бездротовій технології передачі даних пристрою Fibaro можна демонтувати та переносити на нове місце. Система Fibaro постійно сканує систему та за необхідності інформує Вас про подію. Висока інтеграція коїться з іншими системами. Мозком системи Fibaro є Home Center 2. Інтерфейс надає простий контроль над групами пристроїв, що відповідають за функції – опалення, кондиціонування, освітлення тощо (рис. 1.8).

### Аналіз можливостей мікроконтролерів та міні комп'ютерів

Апаратно-технічні характеристики мікропроцесорних пристроїв представлені в таблиці 1.

Мікроконтролери Arduino. Платформа Arduino стала одним із перших масових

Таблиця 1 – Характеристики мікропроцесорних пристроїв

Платформа	Тип	Процесор / Мікроконтролер	Тактова частота	ОЗП	Flash / ПЗП	Мережеві інтерфейси	GPIO	Орієнтовна вартість, \$
Arduino Ethernet	Мікро-контролер	ATmega328	16 МГц	2 КБ SRAM	32 КБ	Ethernet	14	43
Arduino Tian	Мікро-контролер	SAMD21G18 + Atheros AR9342	48 МГц + 560 МГц	32 КБ + 64 МБ	256 КБ + 16 МБ + 4 ГБ eMMC	Ethernet, Wi-Fi	14	92
ESP8266 (Wemos D1 Mini Pro)	Мікро-контролер	ESP8266EX	80–120 МГц	—	4–16 МБ	Wi-Fi	11	3–5
ESP32	Мікро-контролер	ESP32 (2 ядра)	240 МГц	520 КБ	4 МБ	Wi-Fi, Bluetooth	28	15–30
Raspberry Pi Zero	Міні-комп'ютер	ARM11 (1 ядро)	1 ГГц	512 МБ	microSD	через зовнішні модулі	40	5
Raspberry Pi 3B	Міні-комп'ютер	ARM Cortex-A53 (4 ядра)	1,2 ГГц	1 ГБ	microSD	Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth	40	40
NanoPi NEO	Міні-комп'ютер	Cortex-A7 (4 ядра)	1,2 ГГц	256/512 МБ	microSD	Ethernet	36	10–12
NanoPi NEO Air	Міні-комп'ютер	Cortex-A7 (4 ядра)	1,2 ГГц	512 МБ	8 ГБ eMMC	Wi-Fi	36	26
Orange Pi Zero	Міні-комп'ютер	Cortex-A7 (4 ядра)	1,2 ГГц	256/512 МБ	microSD	Ethernet, Wi-Fi	26	7–9

рішень, що зробили розробку вбудованих систем доступною для широкого кола користувачів. Завдяки відкритій архітектурі, простоті програмування та великій кількості готових бібліотек вона набула значного поширення в освітніх, дослідницьких та інженерних проєктах. Для побудови IoT-систем компанією були запропоновані спеціалізовані моделі з інтегрованими мережевими інтерфейсами. Найбільш функціональним представником сімейства є Arduino Tian. Плата побудована на основі 32-бітного мікроконтролера SAMD21G18 і додаткового процесорного модуля, що працює під керуванням Linux.

Завдяки збільшеному обсягу пам'яті, вищій продуктивності та підтримці сучасних засобів бездротового зв'язку Arduino Tian здатна виконувати більш складні завдання обробки даних і мережевої взаємодії. Наявність вбудованої eMMC-пам'яті та підтримка Wi-Fi і Ethernet роблять її придатною для реалізації комплексних IoT-рішень, однак висока вартість суттєво обмежує її використання у масових проєктах.

Мікроконтролери ESP. Поява мікроконтролерів сімейства ESP стала важливим етапом розвитку апаратних платформ для Інтернету речей. На відміну від більшості рішень Arduino, вони спочатку проєктувалися з орієнтацією на мережеву взаємодію та містять інтегровані модулі бездротового зв'язку. Це дозволило суттєво знизити вартість IoT-пристроїв та спростити їх розробку.

ESP8266 став одним із найпопулярніших мікроконтролерів для побудови недорогих IoT-систем. Пристрій поєднує достатню обчислювальну потужність із вбудованим модулем Wi-Fi, що забезпечує безпосереднє підключення до локальних мереж та Інтернету без використання додаткового обладнання. Контролер підтримує дистанційне оновлення програмного забезпечення, роботу з популярними мережевими протоколами та має низьке енергоспоживання.

Подальшим розвитком цієї платформи став ESP32. Порівняно з попередником він отримав двоядерний процесор із вищою

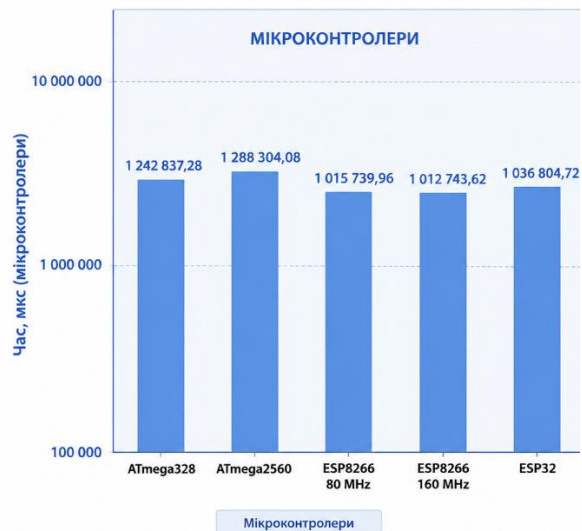
тактовою частотою, більшу кількість входів і виходів, а також підтримку Bluetooth поряд із Wi-Fi. Зростання продуктивності дозволило реалізовувати складніші алгоритми обробки даних, одночасне виконання декількох задач та підтримку більшої кількості периферійних пристроїв.

Raspberry Pi. Саме поява цих пристроїв започаткувала масове використання одноплатних комп'ютерів у навчальних, дослідницьких та прикладних проектах. Молодша модель Raspberry Pi Zero була створена як надзвичайно компактний та доступний пристрій для реалізації невеликих обчислювальних систем. Незважаючи на невеликі розміри, вона забезпечує можливість запуску повноцінної операційної системи Linux та підтримує широкий спектр програмного забезпечення. Водночас відсутність вбудованих мережевих інтерфейсів вимагає використання додаткових модулів для підключення до локальної мережі або Інтернету, що може збільшувати загальну вартість проекту.

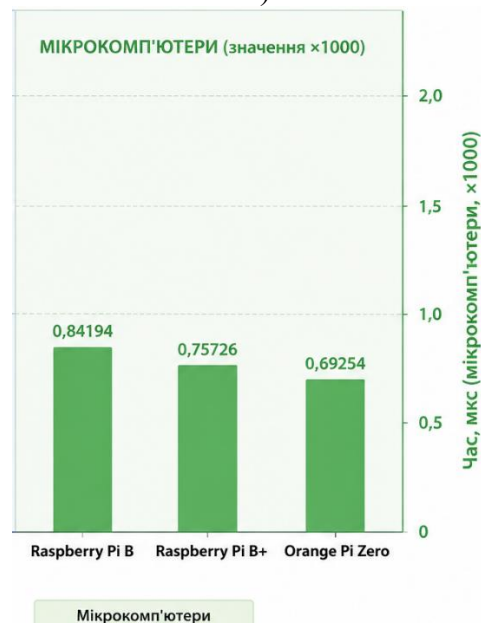
Більш функціональним рішенням є Raspberry Pi 3B, який оснащений чотириядерним 64-бітним процесором, збільшеним обсягом оперативної пам'яті та інтегрованими модулями Ethernet, Wi-Fi і Bluetooth. Таке апаратне забезпечення дозволяє використовувати платформу не лише для збору даних від датчиків, а й для виконання ресурсомістких задач, зокрема обробки великих обсягів інформації, роботи веб-серверів, систем автоматизації та шлюзів IoT-мереж.

Після успіху Raspberry Pi на ринку з'явилася значна кількість альтернативних платформ, серед яких особливе місце займають пристрої сімейства NanoPi. Ці мікрокомп'ютери характеризуються компактними розмірами та орієнтацією на виконання мережевих і керуючих функцій у складі IoT-систем. Модель NanoPi NEO забезпечує вищу продуктивність порівняно з Raspberry Pi Zero та оснащена вбудованим Ethernet-інтерфейсом, що дозволяє використовувати її як мережевий шлюз або вузол збору даних.

Ще однією популярною альтернативою є сімейство Orange Pi. Серед представ-



а)



б)

**Рисунок 4 – Час виконання 1 Get-запиту для мікроконтролерів (а); для мікрокомп'ютерів (б)**

лених моделей особливий інтерес для IoT-систем становить Orange Pi Zero. Цей пристрій поєднує компактні розміри, невисоку вартість та наявність як дротових, так і бездротових мережевих інтерфейсів. Завдяки чотириядерному процесору та підтримці Linux він здатний виконувати функції локального сервера, мережевого шлюзу або центру збору інформації від периферійних пристроїв.

Для оцінювання придатності досліджуваних платформ до використання в системах Інтернету речей (IoT) було побудовано графік залежності середнього часу

виконання одного GET-запиту від типу обчислювальної платформи. До порівняння включено мікроконтролери ATmega328, ATmega2560, ESP8266 (80 та 160 МГц), ESP32, а також мікрокомп'ютери Raspberry Pi B, Raspberry Pi B+ та Orange Pi Zero. Усі вимірювання для мікрокомп'ютерів виконувалися з використанням реалізації клієнта мовою C++ (рис. 4). З графіка видно, що мікрокомп'ютери значно перевершують мікроконтролери за швидкістю виконання GET-запитів. Найкращий результат продемонстрував Orange Pi Zero (692,54 мкс на запит), за ним розташувалися Raspberry Pi B+ (757,26 мкс) та Raspberry Pi B (841,94 мкс). Час виконання GET-запитів на мікроконтролерах сімейств AVR та ESP становить близько 1–1,3 млн мкс на запит, що приблизно у 1200–1800 разів більше порівняно з мікрокомп'ютерами. Серед мікроконтролерів найкращий результат показав ESP8266 з тактовою частотою 160 МГц (1012743,62 мкс), тоді як найповільнішою платформою виявилася ATmega2560 (1288304,08 мкс).

### Висновки

У результаті проведеного дослідження було встановлено, що вибір апаратної платформи для IoT-систем суттєво впливає на швидкодію обробки даних та мережевих запитів. Мікроконтролери сімейств AVR та

ESP характеризуються низьким енергоспоживанням, невисокою вартістю та достатньою продуктивністю для виконання типових задач збору даних із сенсорів і передачі інформації мережею. Водночас одноплатні комп'ютери Raspberry Pi та Orange Pi забезпечують значно вищу швидкодію під час виконання обчислювальних операцій і HTTP GET-запитів завдяки потужнішим процесорам, більшому обсягу пам'яті та використанню повноцінних операційних систем.

Результати експериментів показали, що найкращі показники швидкодії під час виконання мережевих запитів продемонстрували мінікомп'ютери, тоді як серед мікроконтролерів найбільш ефективними виявилися пристрої сімейства ESP. Отримані результати підтверджують доцільність використання мікроконтролерів у вузлах збору та передавання даних, а мінікомп'ютерів — у ролі локальних серверів, шлюзів або центрів обробки інформації. Таким чином, оптимальна архітектура сучасних IoT-систем полягає у поєднанні переваг обох класів пристроїв.

### Подяки

Відсутні.

### Конфлікт інтересів

Відсутній.

### Список використаних джерел

1. Choudhary A. Internet of Things: a comprehensive overview, architectures, applications, simulation tools, challenges and future directions. *Discover Internet of Things*. 2024. Vol. 4. Art. 84. URL: <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00084-3>
2. Alqahtani F., Al-Makhadmeh Z. Internet of Things: a general overview between architectures, protocols and applications. *Information*. 2021. Vol. 12 (2). Art. 87. URL: <https://doi.org/10.3390/info12020087>
3. Rahman M. M., Hossen M., Rahama M. T. Raspberry Pi as sensor node and hardware of the Internet of Things (IoT) for smart home. *International Journal of Innovative Research in Electronics and Communications*. 2016. Vol. 3 (3). P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.20431/2349-4050.0303001>
4. Calvo I., Gil-García J. M., Recio I., López A., Quesada J. Building IoT applications with Raspberry Pi and low power IQRF communication modules. *Electronics*. 2016. Vol. 5 (3). Art. 54. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics5030054>
5. Mehra M. S. IoT based smart home automation system using Raspberry Pi. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2022. Vol. 11 (5). P. 488–491. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18412680>

6. Viswanadh B., Singh A. Monitor and control of remote appliances using Raspberry Pi through IoT. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2016. Vol. 5 (15). P. 1–5. URL: <https://doi.org/10.17577/IJERTV5IS110308>
7. Chavan A., Pingale A. Open source hardware for IoT: a review. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2023. Vol. 12 (4). P. 345–350. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18397750>
8. Aghenta L. O., Iqbal M. T. Low-cost, open source IoT-based SCADA system design using Thinger.IO and ESP32 thing. *Electronics*. 2019. Vol. 8 (8). Art. 822. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics8080822>
9. Hosny K. M., Magdi A., Salah A., El-Komy O., Lashin N. A. Internet of Things applications using Raspberry-Pi: a survey. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2023. Vol. 13 (5). P. 5565–5575. URL: <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i1.pp902-910>
10. Mohammed N., Alshammari M., Alenezi M., Alhajri S. Security vulnerability analysis for IoT devices Raspberry Pi using PENTEST. *Procedia Computer Science*. 2023. Vol. 220. P. 1285–1292. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.163>

## References

1. Choudhary, A. (2024). Internet of Things: A comprehensive overview, architectures, applications, simulation tools, challenges and future directions. *Discover Internet of Things*, 4, Article 84. <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00084-3>
2. Alqahtani, F., & Al-Makhadmeh, Z. (2021). Internet of Things: A general overview between architectures, protocols and applications. *Information*, 12(2), Article 87. <https://doi.org/10.3390/info12020087>
3. Rahman, M. M., Hossen, M., & Rahama, M. T. (2016). Raspberry Pi as sensor node and hardware of the Internet of Things (IoT) for smart home. *International Journal of Innovative Research in Electronics and Communications*, 3(3), 1–6. <https://doi.org/10.20431/2349-4050.0303001>
4. Calvo, I., Gil-García, J. M., Recio, I., López, A., & Quesada, J. (2016). Building IoT applications with Raspberry Pi and low power IQRF communication modules. *Electronics*, 5(3), Article 54. <https://doi.org/10.3390/electronics5030054>
5. Mehra, M. S. (2022). IoT based smart home automation system using Raspberry Pi. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 11(5), 488–491. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18412680>
6. Viswanadh, B., & Singh, A. (2016). Monitor and control of remote appliances using Raspberry Pi through IoT. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 5(15), 1–5. <https://doi.org/10.17577/IJERTV5IS110308>
7. Chavan, A., & Pingale, A. (2023). Open source hardware for IoT: A review. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 12(4), 345–350. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18397750>
8. Aghenta, L. O., & Iqbal, M. T. (2019). Low-cost, open source IoT-based SCADA system design using Thinger.IO and ESP32 thing. *Electronics*, 8(8), Article 822. <https://doi.org/10.3390/electronics8080822>
9. Hosny, K. M., Magdi, A., Salah, A., El-Komy, O., & Lashin, N. A. (2023). Internet of Things applications using Raspberry-Pi: A survey. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(5), 5565–5575. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i1.pp902-910>
10. Mohammed, N., Alshammari, M., Alenezi, M., & Alhajri, S. (2023). Security vulnerability analysis for IoT devices Raspberry Pi using PENTEST. *Procedia Computer Science*, 220, 1285–1292. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.163>

## TECHNOLOGICAL FEATURES OF MICROCONTROLLERS AND MINICOMPUTERS IN IOT SYSTEMS

**Lutsak D. L.**

Senior Lecturer, Department of Information Technologies

King Danylo University

76018, 35 Konovalts St., Ivano-Frankivsk, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-9496-3542>

e-mail: d.l.lutsak@gmail.com

**Abstract.** The article considers the technological features of the use of microcontrollers and minicomputers in modern Internet of Things (IoT) systems. The relevance of the study is due to the rapid development of digital technologies, the increase in the number of connected devices and the need to create effective, reliable and scalable hardware and software platforms for collecting, transmitting and processing data. The architectural features of microcontrollers and minicomputers are analyzed, their functional capabilities, advantages and limitations are determined in the context of building IoT systems for various purposes. Particular attention is paid to the study of the technical characteristics of modern microcontrollers, in particular the Arduino, ESP32, STM32 families and other popular platforms. The role of microcontrollers in the implementation of peripheral nodes of IoT networks that provide primary collection and pre-processing of information is analyzed. The capabilities of minicomputers, in particular Raspberry Pi, Orange Pi and other single-board computers, which are used as local servers, data transmission gateways and platforms for executing more complex information processing algorithms, are separately investigated. The features of using operating systems, network services, cloud technologies and remote administration tools in IoT infrastructure are determined. A comparative analysis of the technical parameters of microcontrollers and minicomputers is presented according to the criteria of performance, energy efficiency, cost, scalability and software implementation capabilities. The main data transmission protocols are considered, as well as the features of their integration with modern hardware platforms. The results obtained can be used in the design and modernization of modern information and management systems focused on the concept of the Internet of Things, as well as for selecting optimal hardware platforms depending on the requirements of specific application tasks.

**Keywords:** Internet of Things (IoT), microcontroller, minicomputer, embedded systems, sensor networks, data processing, information security, cloud technologies, smart devices.