

ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ У СИСТЕМАХ IoT

Васильєв Ю.С.

e-mail: yurii.vasyliiev@nure.ua

Науковий керівник: д.ф-м.н. Бондаренко І.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, МЕЕПП
м. Харків, Україна

This paper investigates methods for optimizing the utilization of computational resources of microcontrollers in Internet of Things (IoT) systems. The influence of processor clock frequency, RAM capacity, and MCU architecture on the overall energy efficiency of the system is analyzed. The obtained results demonstrate the importance of efficient resource management for improving the energy performance of embedded IoT devices.

Метою роботи є дослідження та розробка методів оптимізації використання обчислювальних ресурсів мікроконтролерів у системах IoT з урахуванням обмежень енергоспоживання та продуктивності, а також підвищення енергоефективності вбудованих пристроїв шляхом адаптивного керування параметрами роботи мікроконтролера.

Системи Інтернету речей (IoT) на сьогоднішній день набули широкого розповсюдження та активно застосовуються у різних сферах сучасних інформаційних технологіях, включаючи промисловість, медицину, транспорт та розумні будинки [1]. Більшість таких пристроїв реалізується на базі мікроконтролерів, які, незважаючи на свою універсальність і доступність, характеризуються обмеженими обчислювальними можливостями та жорсткими обмеженнями щодо енергоспоживання [3].

Динамічне енергоспоживання цифрових CMOS-схем описується формулою [4]:

$$P = C \times V^2 \times f.$$

де P – споживана потужність, C – ефективна ємність перемикавання транзисторів, V – напруга живлення, f – тактова частота процесора [4].

Порівняння енергоефективності різних архітектур мікроконтролерів наведено у таблиці 1 [2–3].

Таблиця 1 – Порівняння енергоефективності архітектур MCU

Архітектура	MCU	MIPS	Потужність mW	mW/MIPS
AVR	ATmega328	20	40	2.0
ARM Cortex-M4	STM32F4	168	180	1.07
RISC-V	GD32VF103	108	120	1.11



Рисунок 1 – Архітектура IoT-вузла

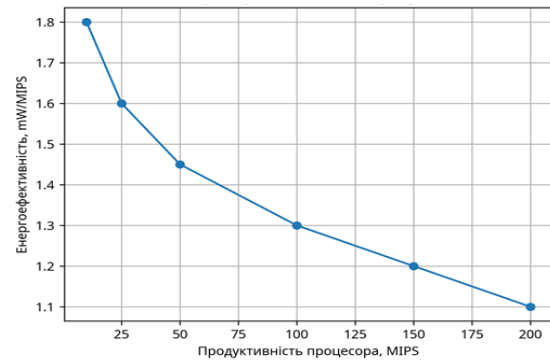


Рисунок 2 – Залежність енергоефективності від продуктивності MCU

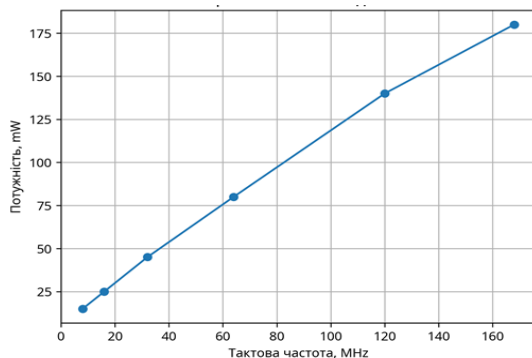


Рисунок 3 – Залежність енергоспоживання від тактової частоти

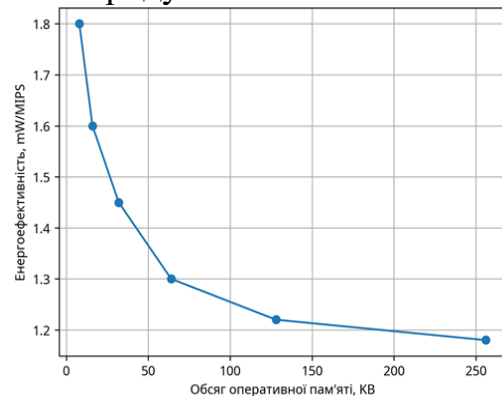


Рисунок 4 – Залежність енергоефективності від обсягу оперативної пам'яті

Аналіз графічних залежностей, представлених на рисунках 2-4, дозволяє зробити більш детальні висновки щодо впливу параметрів мікроконтролера на енергоефективність системи. Зокрема, залежність енергоефективності від продуктивності MCU (рис. 2) демонструє, що зі зростанням обчислювальної потужності спостерігається нелінійне покращення показника $mW/MIPS$, що обумовлено більш ефективною архітектурою сучасних процесорів.

Залежність енергоспоживання від тактової частоти (рис. 3) підтверджує квадратичний характер зростання споживаної потужності, що узгоджується з відомими теоретичними моделями для CMOS-схем. Це свідчить про доцільність використання механізмів динамічного масштабування частоти для зниження енергоспоживання.

Аналіз залежності енергоефективності від обсягу оперативної пам'яті (рис. 4) показує, що збільшення обсягу RAM дозволяє зменшити кількість звернень до зовнішніх ресурсів, що в свою чергу знижує загальне енергоспоживання системи. Разом з тим, надмірне збільшення пам'яті не завжди є доцільним через зростання статичного споживання.

Таким чином, результати графічного аналізу підтверджують необхідність комплексного підходу до оптимізації параметрів мікроконтролера в IoT-системах.

Запропоновано підхід до адаптивного керування обчислювальними ресурсами мікроконтролера у системах IoT, що базується на аналізі навантаження процесора та динамічному масштабуванні частоти.

Оптимізація використання обчислювальних ресурсів мікроконтролерів дозволяє підвищити енергоефективність IoT-пристроїв.

У роботі досліджено методи оптимізації обчислювальних ресурсів мікроконтролерів у системах IoT. Проведено аналіз впливу тактової частоти, архітектури та обсягу оперативної пам'яті на енергоефективність вбудованих систем.

Показано, що застосування адаптивного керування частотою та навантаженням процесора дозволяє знизити енергоспоживання без суттєвої втрати продуктивності. Отримані результати підтверджують доцільність використання запропонованого підходу для підвищення ефективності IoT-пристроїв.

Запропоновані рішення можуть бути використані при розробці енергоефективних вбудованих систем реального часу.

Список використаних джерел:

1. Wolf W. Computers as Components: Principles of Embedded Computing System Design. – 3rd ed. – San Francisco: Morgan Kaufmann, 2012. – 512 p.
2. Yiu J. The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors. – 3rd ed. – Oxford: Newnes, 2013. – 784 p.
3. Marwedel P. Embedded System Design: Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems. – 2nd ed. – Dordrecht: Springer, 2011. – 450 p.
4. Hennessy J. L., Patterson D. A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. – 5th ed. – Waltham: Morgan Kaufmann, 2012. – 856 p.
5. Головні тенденції у виробництві електроніки / Ю. С. Васильєв, Є. О. Горбенко, В. П. Карнаушенко, М. І. Пятайкіна // Радіоелектроніка та молодь в XXI столітті : матеріали 26-го Міжнародного молодіжного форуму, 24-25 листопада 2022 р. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – Т. 3. – С. 75–78.