

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ШВИДКОДІЇ GPIO ОДНОПЛАТНИХ КОМП'ЮТЕРІВ RASPBERRY PI 4 ТА RASPBERRY PI 5

Д. т. н. А. П. Бондарєв<sup>1</sup>, к. т. н. А. Я. Бенч<sup>1</sup>, О. А. Бенч<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,

<sup>2</sup>Львівський науковий ліцей №1 імені Б.-І.Антонича

Україна, м. Львів

andrii.p.bondariev@lpnu.ua, andrii.y.bench@lpnu.ua, bench.oleg@gmail.com

*Проведено оцінку максимальної швидкодії GPIO для нової моделі одноплатного комп'ютера Rasp-berry Pi 5. Результати експериментів показують зростання швидкодії GPIO у порівнянні із попередньою моделлю комп'ютера Raspberry Pi 4 приблизно у три рази при програмуванні мовою Python та у 2,3 раза мовою C++. Отримані дані були використані для вибору апаратних платформ побудови радіомодемів.*

*Ключові слова: одноплатний комп'ютер, Raspberry, Pi 4, Pi 5, швидкодія GPIO, мова програмування, Python, C++, апаратна платформа.*

Сучасний напрямок розвитку радіотехніки і телекомунікацій полягає у багатоваріантному використанні одноплатних та однокристальних мікропроцесорів, мікрокомп'ютерів та мікроконтролерів [1, 2]. Галузь їх застосування — від розрахункових програм до інтернету речей та елементів штучного інтелекту [3, 4].

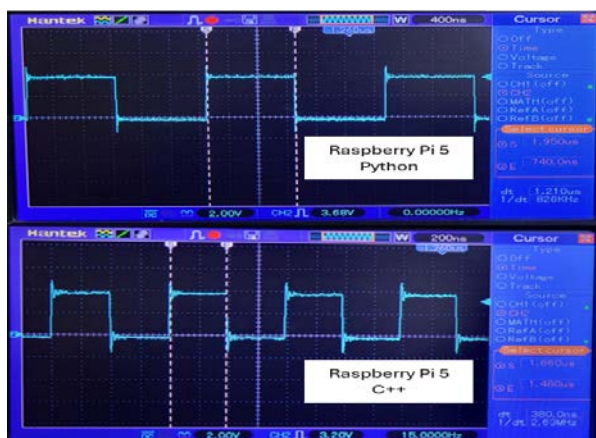
Сучасні контролери мають багатоядерні процесори із тактовою частотою біля 2 ГГц, обсяг оперативної пам'яті 1 – 8 Гб та реалізують складні алгоритми обробки сигналів і управління. Сенсори та актуатори приєднують до таких плат за допомогою портів GPIO. У багатьох моделях одноплатних контролерів швидкодія GPIO не специфікують та не вказують у характеристиках. Інтернет-матеріали із експериментальною оцінкою швидкодії GPIO [5, 6] наводять оціночні характеристики. Постійна еволюція лінійок одноплатних контролерів, зміна архітектури GPIO вимагає їх реальної оцінки.

Це дослідження присвячене експериментальному визначенню швидкодії GPIO для Raspberry Pi 4 та Raspberry Pi 5, його результати були використані для вибору моделей одноплатних комп'ютерів та побудови радіомодемів.

*Методика проведення експерименту.* На відміну від попередніх версій, у Raspberry Pi 5 для управління GPIO застосовано спеціально спроектований для нього контролер RP1. Тому для проведення експериментів використано бібліотеку роботи із GPIO, яка підтримує обидві архітектури: Raspberry Pi 4 та Raspberry Pi 5. Такою бібліотекою є `gpio2`. Перед проведенням експериментів її було встановлено на Raspberry Pi за допомогою команди `“sudo apt-get install libgpio2 libgpio-dev”`.

Для перевірки максимальної швидкодії один із виводів GPIO був встановлений у логічну 1. Наступна операція — без жодних затримок той самий вивід встановлено у логічний 0. В результаті на виході формується серія прямокутних імпульсів, параметри яких можна безпосередньо виміряти осцилографом. Швидкість встановлення вихідного сигналу для GPIO залежить від механізмів взаємодії із GPIO, що заховані за реалізацією конкретної мови програмування. Тому для експерименту були написані тестові програми мовами C++ та Python. Мову C++ використано для створення програмного забезпечення вбудованих систем із високою швидкістю. Мова Python є надзвичайно популярною для створення прототипів програмного забезпечення. Код програм на C++ треба компілювати, а код на Python — інтерпретувати. Вибір C++ та Python покриває усі типові варіанти використання одноплатних комп'ютерів від швидкого прототипування за допомогою інтерпретованих мов аж до створення промислових рішень. Код програм, використаних для тестування, тут не наводимо, за потреби його можна знайти на GitHub [8]. Зауважимо лише, що для коректної роботи програм на RaspberryPi 4 слід використати константу `“gpiochip0”` у відповідних рядках програми, а на Raspberry Pi 5 замінити її на `“gpiochip4”`.

**Результати вимірювань.** Отримані осцилограми сигналів на виході GPIO наведено на рисунку. Для їх отримання був використаний цифровий осцилограф Hantek DSO4102S. Числові значення результати вимірювань зібрані у таблиці.



| Комп'ютер      | Мова програмування | $dt$ , мкс | $f$ , МГц |
|----------------|--------------------|------------|-----------|
| Raspberry Pi 4 | Python             | 3,68       | 0,271     |
|                | C++                | 0,90       | 1,110     |
| Raspberry Pi 5 | Python             | 1,21       | 0,826     |
|                | C++                | 0,38       | 2,630     |

Таким чином, використання окремого контролера вводу-виводу у Raspberry Pi 5 дало можливість збільшити максимальну частоту вихідного сигналу у порівнянні із Raspberry Pi 4 приблизно у 2,3 раза для програм на C++ та у 3 рази із використанням програм на Python. Максимальна частота сигналу на виходах GPIO Raspberry Pi 5 у програмах на C++ становить 2,63 МГц, а у програмах на Python 826 КГц. Слід зауважити, що наведені результати є лише оцінкою максимальних значень. У реальних програмах досягнути їх майже неможливо, оскільки між операціями зміну стану GPIO зазвичай виконують й інші дії, наприклад обробку чи збереження отриманих даних.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Bench A., Murak V., Velhan A., Zhelyak R. Line codes generator for learning purposes. *Матеріали XI Міжнародної конференції TCSET'2012 «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії»*, Україна, Львів – Славське, 2012, с. 78.
2. Бенч А. Я., Бондарев А. П., Мащак А. В. та ін. Застосування давачів інерційного типу для оцінки параметрів серцебиття та дихання людини. *Труди 21-ї МНПК «Сучасні інформаційні та електронні технології»*, Україна, м. Одеса, 2020, с. 52–56.
3. Бондарев А. П., Бенч А. Я., Мащак А. В. Розробка методики викладання та програм навчальних дисциплін з урахуванням сучасних особливостей розвитку технології Інтернету речей. *Труди 20-ї МНПК «Сучасні інформаційні та електронні технології»*, Україна, м. Одеса, 2019, с. 51–53.
4. Хома Ю. В., Бенч А. Я. Порівняльний аналіз програмно-апаратного забезпечення алгоритмів глибокого навчання. *Комп'ютерні системи та мережі*, 2019, вип. 1, № 1, с. 97–102.
5. *Raspberry Pi 2 vs. 1 GPIO Benchmark*. URL: <https://codeandlife.com/2015/03/25/raspberry-pi-2-vs-1-gpio-benchmark/>
6. *Benchmarking Raspberry Pi GPIO Speed*. URL: <https://codeandlife.com/2012/07/03/benchmarking-raspberry-pi-gpio-speed/>
7. *Raspberry Pi 5*. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/>
8. *GitHub project RaspberryPiGPIOspeed*. URL: <https://github.com/abench/RaspberryPiGPIOspeed.git>

A. P. Bondariev, A. Ya. Bench, O. A. Bench

#### Experimental estimation of GPIO speed for the single board computers Raspberry Pi 4 and Raspberry Pi5

The authors assessed the maximum GPIO performance for the new model of the single-board computer Raspberry Pi 5. The experiments showed that compared to the previous Raspberry Pi 4, the GPIO performance increased by about 3 times when using Python and 2.3 times when using C++. The obtained data were used to select hardware platforms for constructing radio modems.

**Keywords:** single board computer, Raspberry, Pi 4, Pi 5, GPIO performance, programming language, Python, C++, hardware platform.