

# СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПЕРИФЕРІЙНИМИ МОДУЛЯМИ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ З ARM АРХІТЕКТУРОЮ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

*У роботі розглянуто особливості побудови системи керування периферійними модулями мікропроцесорних систем на базі ARM-архітектури. Досліджено принципи функціонування підсистеми GPIO та механізм доступу до апаратних ресурсів через технологію Memory-Mapped I/O. Розроблено програмний драйвер для керування цифровими входами та виходами мікроконтролера STM32F4. Проведене тестування підтвердило працездатність запропонованого рішення та можливість його використання під час створення вбудованих систем реального часу.*

**Ключові слова:** ARM, STM32, GPIO, вбудовані системи, драйвер пристрою, Memory-Mapped I/O, мікроконтролер.

## Abstract

*The paper considers the features of designing a peripheral module control system for microprocessor systems based on ARM architecture. The operating principles of the GPIO subsystem and the mechanism of access to hardware resources using Memory-Mapped I/O technology are investigated. A software driver for controlling digital inputs and outputs of the STM32F4 microcontroller has been developed. Testing confirmed the operability of the proposed solution and the possibility of its application in embedded real-time systems.*

**Keywords:** ARM, STM32, GPIO, embedded systems, device driver, Memory-Mapped I/O, microcontroller.

## Вступ

Сучасні вбудовані системи є основою функціонування значної кількості електронних пристроїв у промисловості, транспорті, телекомунікаціях, медицині та побутовій техніці. Однією з найпоширеніших платформ для реалізації таких систем є ARM-мікроконтролери, які поєднують високу продуктивність, низьке енергоспоживання та широкий набір периферійних модулів[1]. Ефективність роботи мікроконтролерної системи значною мірою залежить від організації взаємодії між центральним процесором і периферійними пристроями, що здійснюється через спеціалізовані модулі введення-виведення.

Особливе значення серед периферійних засобів мають порти введення-виведення загального призначення GPIO (General Purpose Input/Output), які забезпечують підключення датчиків, кнопок, світлодіодних індикаторів, реле та інших цифрових пристроїв. Тому розроблення програмних засобів керування GPIO є важливим завданням під час створення сучасних вбудованих систем.

## Основна частина

ARM-архітектура є однією з найпоширеніших платформ для побудови сучасних вбудованих систем. Її популярність зумовлена поєднанням високої продуктивності, низького енергоспоживання та широких можливостей інтеграції периферійних модулів. Особливе місце серед ARM-мікроконтролерів займає сімейство STM32, яке активно використовується в системах автоматизації, телекомунікаційному обладнанні, медичній техніці, робототехнічних комплексах та пристроях Інтернету речей[2].

Функціонування більшості вбудованих систем базується на взаємодії процесорного ядра із зовнішніми пристроями через периферійні модулі. До таких модулів належать порти введення-виведення загального призначення (GPIO), таймери, аналого-цифрові перетворювачі, а також інтерфейси UART, SPI та I2C. Саме підсистема GPIO є базовим засобом підключення цифрових пристроїв і використовується практично в кожному проєкті на базі мікроконтролера.

Для реалізації системи керування периферійними модулями було обрано платформу STM32F4 Discovery, побудовану на базі ARM Cortex-M4[3]. Мікроконтролер STM32F407 містить розвинену периферійну підсистему та підтримує механізм Memory-Mapped I/O, відповідно до якого регістри периферійних пристроїв відображаються в єдиному адресному просторі пам'яті. Завдяки цьому доступ до апаратних ресурсів виконується за допомогою звичайних операцій читання та запису, що значно спрощує реалізацію програмних драйверів.

Розроблена система керування передбачає використання програмного драйвера GPIO, який забезпечує конфігурацію режимів роботи виводів мікроконтролера, встановлення логічних рівнів на цифрових виходах та зчитування станів цифрових входів. Під час ініціалізації драйвера виконується активація тактування відповідного порту через модуль RCC, налаштування режиму роботи контакту та параметрів його функціонування. Після завершення ініціалізації програмне забезпечення отримує можливість керувати зовнішніми пристроями шляхом зміни значень відповідних регістрів GPIO.

На рисунку 1 наведено принцип взаємодії процесора з модулем GPIO через механізм Memory-Mapped I/O.

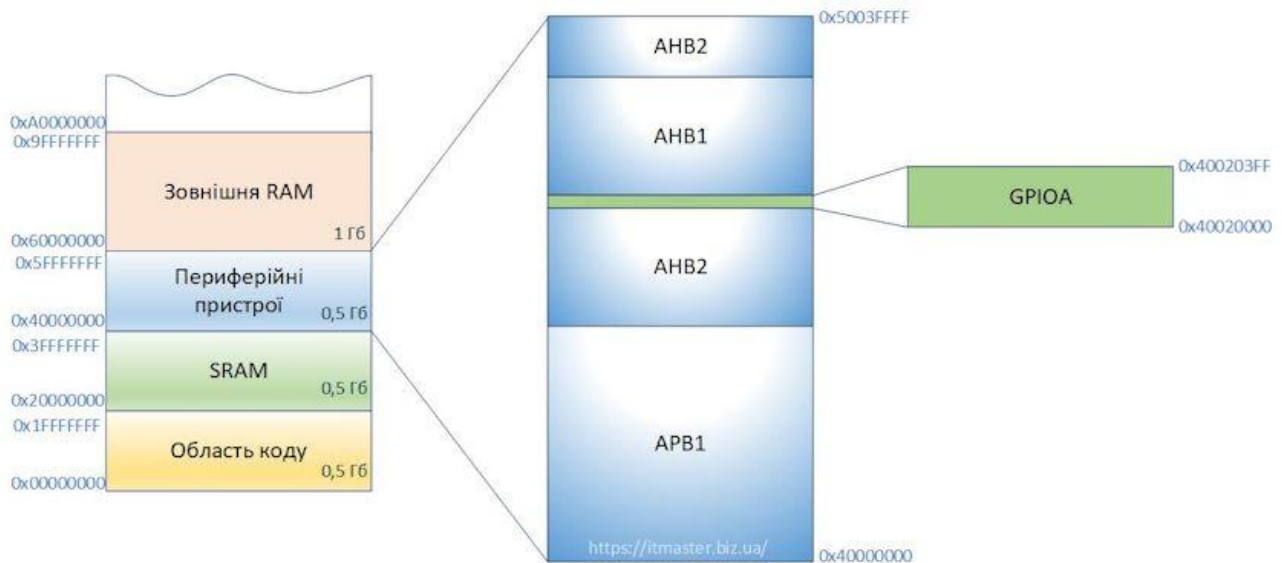


Рисунок 1 – Взаємодія процесора з модулем GPIO через механізм Memory-Mapped I/O

Застосування механізму Memory-Mapped I/O дозволяє забезпечити швидкий доступ до периферії без використання додаткових команд введення-виведення. Це особливо важливо для систем реального часу, де затримки під час обробки подій повинні бути мінімальними. Крім того, такий підхід забезпечує уніфіковану модель доступу до пам'яті та периферійних ресурсів.

У межах дослідження було реалізовано програмний модуль керування цифровими виходами та виконано його тестування на апаратній платформі STM32F4 Discovery. Для перевірки працездатності використовувався світлодіодний індикатор LD4, підключений до виводу PD12 порту GPIOD. Результати тестування підтвердили коректність функціонування драйвера, правильність конфігурування периферії та можливість надійного керування зовнішніми пристроями.

Важливою перевагою запропонованого рішення є модульна структура програмного забезпечення. Використання окремого драйвера забезпечує незалежність прикладного коду від особливостей апаратної реалізації, спрощує супровід програмного забезпечення та дозволяє розширювати функціональні можливості системи без суттєвої зміни її архітектури[4]. Розроблений підхід може бути використаний як основа для створення драйверів інших периферійних модулів, зокрема UART, SPI, I2C, таймерів та аналого-цифрових перетворювачів.

Отримані результати демонструють доцільність використання ARM-мікроконтролерів сімейства STM32 для побудови сучасних систем керування периферійними пристроями та підтверджують ефективність застосування низькорівневого доступу до апаратних ресурсів при розробленні вбудованих систем.

## Висновки

У роботі розглянуто особливості побудови системи керування периферійними модулями мікропроцесорних систем на базі ARM-архітектури. Досліджено принципи роботи GPIO та механізм Memory-Mapped I/O, який забезпечує ефективну взаємодію програмного забезпечення з апаратними ресурсами мікроконтролера. Розроблено та протестовано драйвер керування цифровими входами та виходами для платформи STM32F4. Отримані результати підтверджують можливість використання запропонованого підходу під час створення сучасних вбудованих систем реального часу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yiu J. The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors. 3rd ed. Newnes, 2013. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124080829/the-definitive-guide-to-arm-cortex-m3-and-cortex-m4processors>
2. STMicroelectronics. STM32F4 Series Reference Manual RM0090. 2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.st.com/resource/en/reference\\_manual/rm0090-stm32f405415-stm32f407417-stm32f427437-and-stm32f429439-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0090-stm32f405415-stm32f407417-stm32f427437-and-stm32f429439-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf)
3. STMicroelectronics. STM32F4 Discovery User Manual UM1472. 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.st.com/resource/en/user\\_manual/um1472-discovery-kit-with-stm32f407vg-mcu-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/user_manual/um1472-discovery-kit-with-stm32f407vg-mcu-stmicroelectronics.pdf)
4. Barr M., Massa A. Programming Embedded Systems: With C and GNU Development Tools. 2nd ed. O'Reilly Media, 2006. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.oreilly.com/library/view/programming-embedded-systems/0596009836>

**Гулевич Павло Михайлович** – студент групи 2КІ-22б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: [pasha22883863@gmail.com](mailto:pasha22883863@gmail.com)

**Мурашенко Олександр Геннадійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету, Вінниця.

**Колесник Ірина Сергіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету, Вінниця.

**Hulevych Pavlo Mykhailovych** – student of group 2 KI-22b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [pasha22883863@gmail.com](mailto:pasha22883863@gmail.com)

**Murashchenko Oleksandr Hennadiyovych** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Kolesnyk Iryna Serhiivna** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.