

О.В. БОРОВИК

Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького

І.О. САПОЖНИК

Хмельницький національний університет

Д.О. ЛЕВЧУНЕЦЬ

ТОВ «Радіонікс-МЛТ»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБОРУ МІКРОКОНТРОЛЕРА ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМІЗАЦІЇ ШВИДКОДІЇ

У даній статті розв'язано задачу вибору мікроконтролера за критерієм максимізації швидкодії. В основі розв'язання задачі знаходиться експериментальна оцінка часу готовності мікроконтролера до роботи, максимальної частоти зміни стану портів вводу/виводу, швидкості реагування цифрових портів у режимі реального часу. На основі використання запропонованого алгоритму оцінки швидкодії мікроконтролера було отримано осцилограми з частотою дискретизації 16 МГц, які дозволили сформувати статистичні масиви для прийняття рішень щодо вибору мікроконтролера. За результатами проведеного дослідження встановлено, що платформа Arduino UNO з досліджуваних найбільш поширених мікроконтролерів має найменшу швидкодію, а STM32F407VG із використанням середовища розробки Keil μ Vision v. 5.25.2.0 – найбільшу.

Ключові слова: мікроконтролер, швидкодія, критерій, arduino, експериментальне дослідження.

O.V. BOROVYK

National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bogdan Khmelnytsky

I.O. SAPOZHNIK

Khmelnytskyi National University

D.O. LEVCHUNETS

«Radioniks-MLT» LLC

EXPERIMENTAL RESEARCH OF MCU SELECTION UNDER THE MAXIMIZATION PERFORMANCE CRITERIA

According to the latest researches, microcontrollers remain at the epicentre of tremendous growth in the Internet of Things, automotive, robotics, embedded applications and other emerging systems. Major Microcontroller suppliers have been improving their portfolios to address many of these key markets. Part of that improvement process has included merging and acquiring competitors in order to gain a quick foothold into these developing markets hereby, performance based solution of microcontroller selection task is given in the article. At the heart of the solution lays following constituents: the readiness time, input (I / O) ports change of state maximum frequency and digital port real time response speed. Based on the proposed algorithm for microcontroller performance evaluating, oscillograms with a sampling frequency of 16 MHz were obtained. They allowed to form the statistical arrays for decision making regarding to the microcontroller selection task. According to the results of the research, the Arduino UNO platform has the worst performance among selected MCUs. At the same time, STM32F407VG using Keil μ Vision v. 5.25.2.0. development environment showed the best timing results.

Keywords: microcontroller, performance, criterion, Arduino, experimental research.

Вступ

Під час проектування цифрових систем одним з найбільш актуальних завдань є завдання вибору елементної бази системи, загалом, і мікроконтролера (МК), зокрема. Складність останнього обумовлюється наявністю значної кількості МК на ринку елементної бази цифрових систем.

Питання розробки МК не втрачає своєї актуальності впродовж останніх десятиліть. Так, наприклад, офіційний проєкт Acorn RISC Machine (ARM) був розпочатий в 1983 році. І вже в 2007 році близько 98 % з більш ніж мільярдів мобільних телефонів, які продавались щорічно, були обладнані хоча б одним процесором ARM. Станом на 2009 рік на процесори ARM припадало до 90 % всіх вбудованих 32-розрядних процесорів [1]. На сьогодні ринок МК та напівпровідникових елементів здебільшого представлений такими компаніями як: Intel, NXP, Microchip, ST. Зокрема, спостерігається висока динаміка розвитку компанії Microchip, що пов'язано з купівлею нею компанії Atmel у квітні 2016 року [2].

Кожен з МК має унікальний набір команд, унікальну архітектуру, регістри та інші характеристики. В зв'язку з відмінністю наборів команд програми, що написані для одного МК, не будуть працювати на інших МК.

Діапазон застосування МК на даний час достатньо широкий, вимоги до них досить різноманітні. Кожен з них відрізняється потужністю, універсальністю, швидкістю і структурними особливостями. Зважаючи на це, вибір мікроконтролера постає серйозним завданням в ході розробки проєкту. При цьому необхідним є врахування і оцінка великої кількості параметрів та факторів, основними з яких є наступні [3–6]:

- архітектура МК (ARM/AVR/PIC та інші...);
- розрядність МК (8, 16, 24, 32, 64 біти);
- периферія МК (наявність достатньої кількості інтерфейсів вводу-виводу, АЦП та ЦАП, компараторів і таймерів);
- наявність портів (UART, SPI, USB, PWM, I2C);

- підтримка відлагоджувальних інтерфейсів (ISP, JTAG, UART, ARM SWD);
- максимальна робоча частота МК;
- розмір ОЗУ та ПЗУ в МК;
- тип корпусу (DIP, QFP, LCC, PGA, LGA, BGA);
- мінімальне та максимальне енергоспоживання МК;
- доступні мови програмування для мікроконтролерів різних типів;
- наявність літератури та технічних описів у вільному доступі;
- підтримка розробником МК (наявність відлагоджувальних програм, прикладів застосування зі схемами і вихідними текстами програм, повідомлень про помилки);
- вартість і доступність у достатньому об'ємі.

Оцінку різноманітності МК можна здійснити, наприклад, з табл. 1.

У табл. 1 наведені найбільш популярні рішення на ринку МК.

Таблиця 1

Найбільш поширені МК на ринку елементної бази

Характеристики	Atmega328	STM32F407	ESP8266	PIC32MX270
Тип процесора	AVR	ARM	Xtensa	PIC32
Розрядність	8 bit	32 bit	32 bit	32 bit
ППЗУ	32 kB	64 kB	448 kB	256 kB
ОЗУ	2 kB	20 kB	520 kB	64 kB
Частота	20 MHz	72 MHz	80 MHz	50 MHz
К-сть I/O виводів	23	37	12	19
Напруга	1.8-5.5 V	2.0-3.6	2.2-3.6	2.3-3.6
Ціна	~70 грн	~165 грн	~95 грн	~200 грн

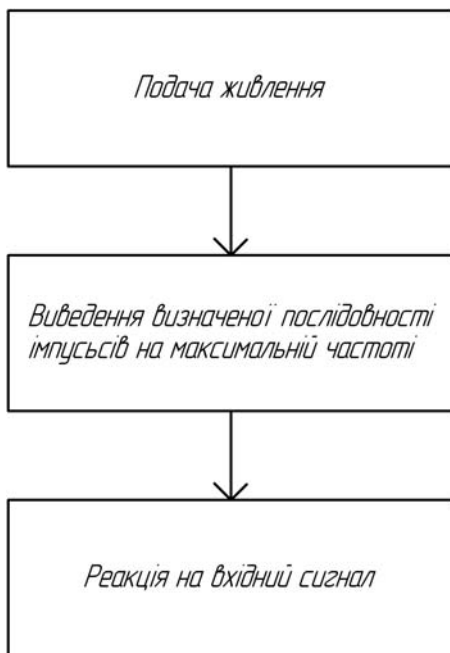


Рис. 1. Алгоритм визначення швидкодії МК

Зважаючи на різноманіття наведених параметрів і факторів, перед фахівцями постає задача вибору МК для кожного конкретного проекту.

Експериментальна частина

При виборі МК за одним параметром трудношів не виникає. Однак, якщо вибір передбачає врахування кількох, то задача ускладнюється і потребує окремого дослідження.

Важливою характеристикою МК є швидкодія. На швидкодію МК впливають такі з вище зазначених факторів та характеристик: тактова частота, розрядність, оптимізація програмного коду, апаратна або програмна реалізація необхідних для проекту модулів МК(UART, АЦП/ЦАП...).

Разом з тим, у кожному проекті слід приймати до уваги наступні базові показники швидкодії:

- час готовності до роботи;
- максимальна частота зміни стану портів вводу (вводу/виводу);
- швидкість реагування цифрових портів у режимі реального часу.

Зважаючи на комплексну природу показників швидкодії, доцільним є їх емпіричне вимірювання. Для цього пропонується використати уніфікований алгоритм роботи, зображений на рис. 1.

Наведений алгоритм враховує базові показники швидкодії. Змінюючи стани виводів МК, можна з заданою точністю відслідкувати час виконання програми. Зокрема,

перевірка максимальної частоти зміни стану портів вводу, що впливає на можливість програмної підтримки високошвидкісних протоколів передачі даних, реалізується передачею послідовності імпульсів.

Для перевірки швидкодії було обрано наступні МК (робочі середовища):

1. Atmega328P - PU (Arduino v.1.8.8.);
2. Atmega328P - PU (Atmel Studio v.7.0);
3. STM32F407VG (Keil μVision v. 5.25.2.0);
4. ESP8266 (Arduino v.1.8.8.).

Вимірювання показників швидкодії обраних МК за вказаним алгоритмом проводилось з використанням логічного аналізатора LOGIC-24M-8CH-USB та програмного забезпечення Saleae Logic 1.2.18.

Використовуючи алгоритм, наведений на рис. 1, було отримано осцилограму з частотою дискретизації 16 MHz та загальною тривалістю 5 секунд. Остання зображена на рис. 2.

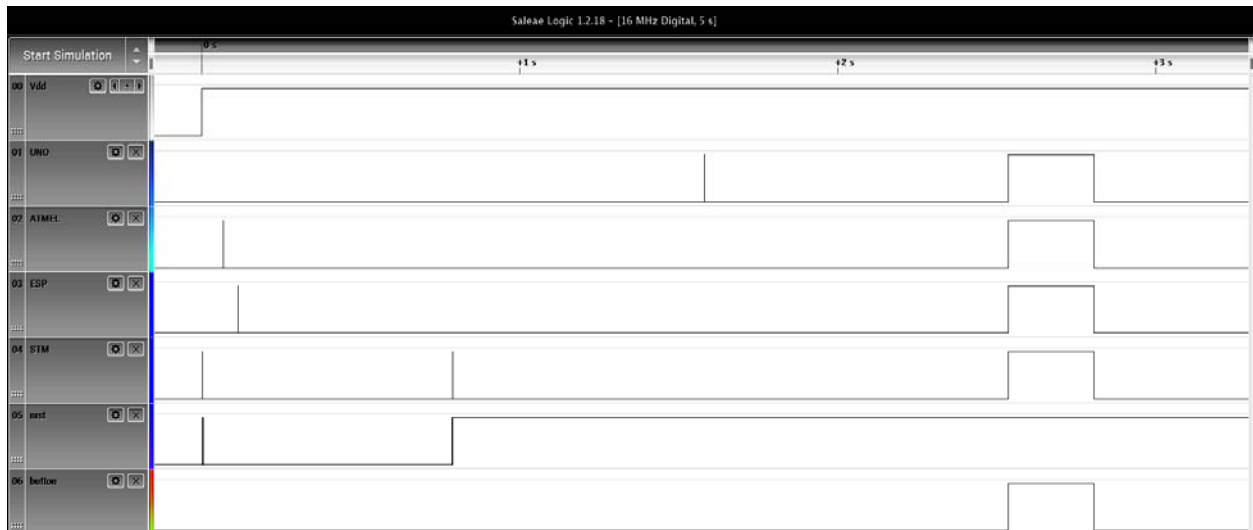


Рис. 2. Осцилограма алгоритму визначення швидкодії для обраних МК

Виведення послідовності імпульсів на максимальній частоті зображено на рис. 3. Кількість імпульсів дорівнює 64. Як видно з рисунку, тривалість імпульсу та паузи значно відрізняється для кожного з МК.

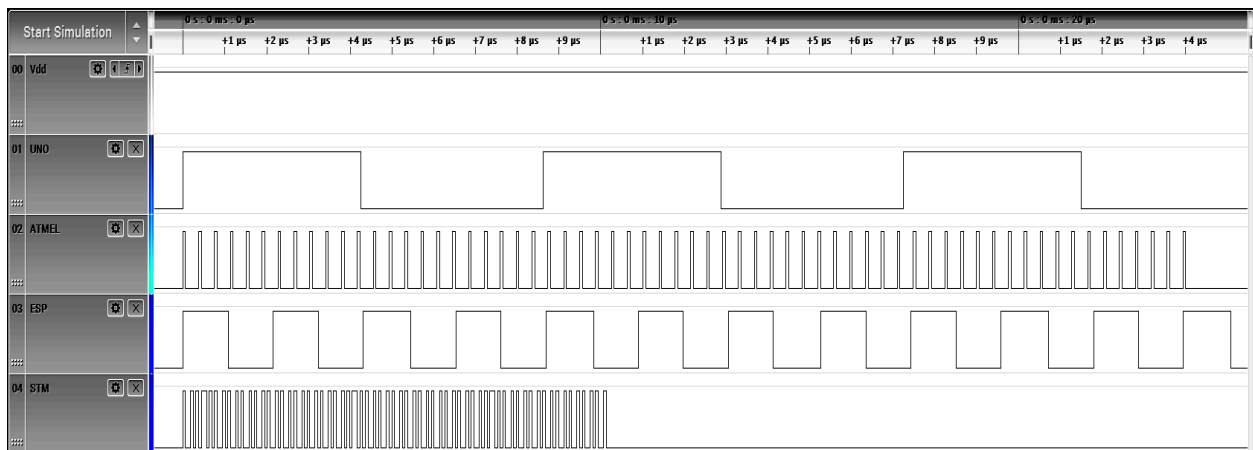


Рис. 3. Осцилограма роботи обраних МК у режимі виведення послідовності з 64-х імпульсів на максимальній частоті

Наведені осцилограми свідчать про різний час запуску МК. Зокрема, для початку виконання основного коду платформа Arduino Uno витратила найбільше часу. В свою чергу, наявність двох послідовностей імпульсів обумовлюється роботою програматора ST-Link V2, що є частиною відлагоджувальної плати STM32F407VG-Discovery. Тому доцільним є визначення часу запуску даного МК у момент встановлення виводу NRST у високий стан, а не подачею живлення, як у інших МК. Більш детальна інформація щодо цього питання наведена у табл. 2.

Як впливає з наведеного статистичного масиву, платформа Arduino UNO з МК Atmega328P - PU має найгіршу швидкодію з обраних для аналізу МК. Зокрема, час готовності до роботи на декілька порядків більший ніж у представлених альтернатив. Це обумовлено високим рівнем абстракції середовища розробки Arduino. Так, уніфікація бібліотек звернення до портів вводу/виводу даного середовища, Bootloader (UART, натомість SPI), кросплатформність створюють надлишковість логічних операцій та негативно впливають на швидкодію.

Використання Atmel Studio, альтернативи фреймворку Arduino, для контролера Atmega328P – PU дозволило досягнути значно кращих показників швидкодії. Незважаючи на відносно низьку тактову частоту даного МК, отримані результати є співрозмірними з іншими представленими рішеннями.

Повертаючись до кросплатформності фреймворку Arduino, для програмування МК ESP8266 було використано скетч, аналогічний до Atmega328P – PU. Зміни полягали в призначенні інших портів вводу/виводу. Отримані результати підтверджують факт зменшення швидкодії МК при використанні даного фреймворку.

Представник компанії STMicroelectronics показав найкращі результати за обраним алгоритмом оцінки швидкодії. Про це свідчать як отримані осцилограми, так і чисельні дані, що наведені в табл. 2.

Чисельне порівняння швидкодії обраних МК

Платформа / Метод перевірки	Atmega328P - PU (Arduino v.1.8.8.)	Atmega328P - PU (Atmel Studio v.7.0)	ESP8266 (Arduino v.1.8.8.)	STM32F407VG (Keil μ Vision v. 5.25.2.0)
Час готовності до роботи, ms	1580	68.89	114.81	0.95
Час передачі послідовності імпульсів, ms	0.557	0.0237	0.138	0.01
Тривалість одного періоду, μ s	8.65	0.375	2.125	0.16
Тривалість імпульсу, μ s	4.25	0.062	1.063	0.062
Тривалість паузи, μ s	4.375	0.3125	1.063	0.105
Реакція на високий вхідний рівень, μ s	7.37	0.38	5	0.19
Реакція на низький вхідний рівень, μ s	7.9	0.312	4.5	0.312

Висновки

За результатами проведеного дослідження швидкодії мікроконтролерів встановлено, що за критерієм максимізації швидкодії є МК STM32F407VG із використанням середовища розробки Keil μ Vision v. 5.25.2.0. Разом із тим, питання вибору мікроконтролерів є більш широким і має передбачати урахування економічної складової, швидкості розробки та інтегрованості у цільовий проект. Так, платформа Arduino має найбільшу кількість бібліотек і широку підтримку розробником, що разом із ціною політикою робить її вигідним варіантом для дрібних проектів. З позиції вибору додаткового функціоналу мікроконтролер ESP8266 характеризується наявністю інтегрованого Wi-Fi модуля. Великі та довготривалі проекти зазвичай будуються з використанням більш розвиненої архітектури. Вбудоване в STM32F407VG ядро Cortex-M4 є представником ARM процесорів, що дозволяє забезпечувати виконання широкого спектру задач.

Література

1. ACORN RISC MACHINE (ARM) FAMILY DATA MANUAL/VLSI TECHNOLOGY, INC. – 1990. – 110 с.
2. Top Microcontroller Supplier Ranking 2015-2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://hardwarebee.com/top-microcontroller-supplier-ranking-2015-2016/>
3. Arduino Uno rev3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
4. STM32F407VG – High-performance foundation line, ARM Cortex-M4 core with DSP and FPU, 1 Mbyte Flash, 168 MHz CPU, ART Accelerator, Ethernet, FSMC [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-high-performance-mcus/stm32f4-series/stm32f407-417/stm32f407vg.html.
5. ESP8266EX Datasheet/Esspressif Systems. – 2018. – 24 с.
6. ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P [DATASHEET] /Atmel Corporation. – 2015. – 49 с.

References

1. ACORN RISC MACHINE (ARM) FAMILY DATA MANUAL/VLSI TECHNOLOGY, INC. – 1990. – 110 s.
2. Top Microcontroller Supplier Ranking 2015-2016 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://hardwarebee.com/top-microcontroller-supplier-ranking-2015-2016/>
3. Arduino Uno rev3 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
4. STM32F407VG – High-performance foundation line, ARM Cortex-M4 core with DSP and FPU, 1 Mbyte Flash, 168 MHz CPU, ART Accelerator, Ethernet, FSMC [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-high-performance-mcus/stm32f4-series/stm32f407-417/stm32f407vg.html.
5. ESP8266EX Datasheet/Esspressif Systems. – 2018. – 24 s.
6. ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P [DATASHEET] /Atmel Corporation. – 2015. – 49 s.

Рецензія/Peer review : 14.5.2019 р. Надрукована/Printed : 2.6.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Говорущенко Т.О.