

УДК 004.67

І.М. Платов, студент гр. ПГ-п71, к.т.н., доц. О.М. Павловський
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ РОБОТИ ФУНКЦІЙ ЧИСЕЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ НА МІКРОКОНТРОЛЕРАХ STM32F303VCT6, ATMEGA328P

Анотація. Сучасні вимірюючі модулі безплатформної інерціальної навігаційної системи в найпростішому випадку складаються з гіроскопів та акселерометрів. Для отримання параметрів про положення об'єкта у просторі вихідні дані вимірюючого модуля інтегрують. Обчислювальним ядром цієї операції виступає мікроконтролер. Але окрім інтегрування мікроконтролер може обраховувати алгоритми керування, передачі даних тощо. Тому для правильного вибору обчислювального ядра необхідно точно оцінити скільки часу витрачається на кожну операцію окремо. У роботі досліджується час роботи функцій чисельного інтегрування із використанням мікроконтролерів, що використовуються для досліджень та у навчальному процесі на кафедрі ПСОН КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Ключові слова: мікроконтролер, інтегрування, STM32F303VCT6, ATmega328P, безплатформна інерціальна навігаційна система, БІНС.

ВСТУП І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Для отримання інформації про положення об'єкта у просторі з вимірюючого модуля безплатформної інерціальної навігаційної системи (БІНС), котрий в найпростішому випадку складається з акселерометра та гіроскопа, необхідно проінтегрувати вихідні дані модуля, в результаті чого отримуються наступні параметри: кути курсу, крена й тангажа, інформація про швидкість та пройдений шлях об'єкта. Тому чисельне інтегрування – невід'ємна операція в програмній частині БІНС [1,2].

Мікроконтролери використовуються в БІНС у якості обчислювального модуля, оскільки дозволяють виконувати складні обчислення в реальному часі. Проте, окрім інтегрування, система у яку входить мікроконтролер, може виконувати функції керування, фільтрації [3], бездротої передачі даних, зйомки місцевості тощо – все це потребує значних обчислювальних потужностей, яких в залежності від складності системи, може не вистачити. Рішенням цієї проблеми може бути заміна мікроконтролера на більш потужний, що призводить до ускладнення системи та збільшення її вартості, або спрощення алгоритму (методу) обробки даних, що вносить додаткові похибки в обчислення. Тому для правильного вибору обчислювального ядра необхідно знати скільки часу мікроконтролер витрачає на кожну операцію окремо. Так як операція інтегрування є однією із обов'язкових операцій при роботі БІНС, і також тому, що на її виконання відводиться багато обчислювальної потужності, то, метою даної роботи є дослідження швидкодії мікроконтролерів STM32F303VCT6 [4] і ATmega328P [5] при виконанні операції чисельного інтегрування класичними методами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як було сказано вище, вимірюючий модуль БІНС складається з акселерометрів і гіроскопів і в загальному випадку представлений на рис.1.

Для отримання значення про швидкість об'єкта необхідно проінтегрувати вихідну величину уявного прискорення $\vec{a}$, для отримання даних про

переміщення, процедуру інтегрування слід повторити. Відповідно, для отримання даних про кутове положення об'єкта, процедуру інтегрування слід використати і для даних з гіроскопів.

Для дослідження швидкодії інтегрування, були обрані мікроконтролери STM32F303VCT6 і ATmega328P, оскільки вони використовуються в навчальному процесі, а також для проведення наукових досліджень на кафедрі ПСОН.

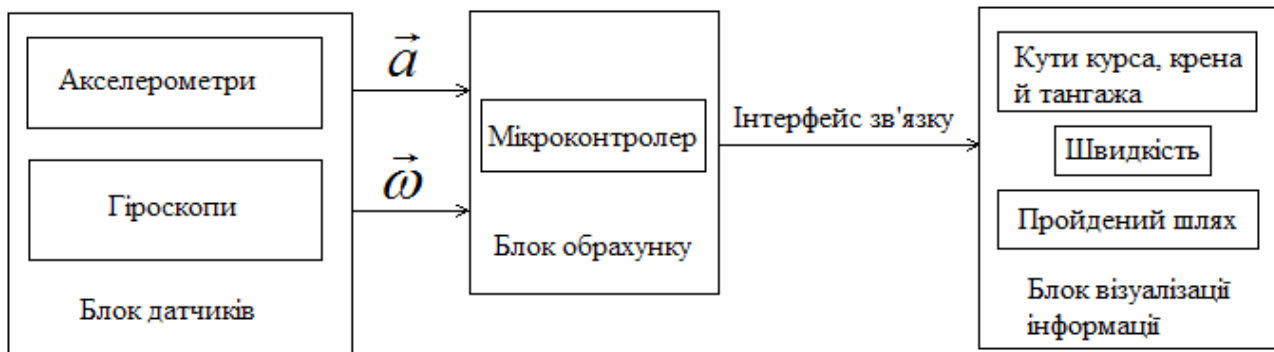


Рисунок 1. Вимірюючий модуль безплатформної інерціальної навігаційної системи в загальному випадку

STM32F303VCT6 – 32 бітний мікроконтролер сімейства ARM CortexM4 [6], має максимальну тактову частоту 72 МГц, 256 Кб ПЗП, 48 Кб ОЗП і відноситься до бюджетних рішень. ATmega328P – має максимальну тактову частоту 16 МГц, 32 Кб ПЗП, 2 Кб ОЗП, розрядність 8 біт.

Для дослідження, мовою C були реалізовані алгоритми інтегрування методами Рунге-Кутта 4 порядку, правих, лівих та середніх прямокутників та метод трапецій.

На швидкодію обчислень програмної частини БІНС впливає, безпосередньо, тактова частота, архітектура та розрядність мікропроцесора. Процес виміру швидкості реалізований за допомогою стандартних рішень для обох мікроконтролерів і для STM32F303VCT6 відбувався з використанням відлагодного модуля Data Watchpoint and Trace Unit (DWT) [7], який в процесі виконання програми рахує такти мікропроцесора. Для ATmega328P була використана стандартна функція millis(), яка повертає кількість мілісекунд з моменту початку виконання програми. На рис.2 та рис.3 відображені лістинги вимірюючої частини програми для STM32F303VCT6 та ATmega328P відповідно.

```
CoreDebug -> DEMCR |= CoreDebug_DEMCR_TRCENA_Msk; //дозволення трасировки
DWT -> CTRL |= DWT_CTRL_CYCCNTENA_Msk; //вмикаємо лічильник тактів
DWT -> CYCCNT = 0; //обнуляємо лічильник

start_time = DWT -> CYCCNT; //початок рахунку тактів

//вимірювана функція

end_time = DWT -> CYCCNT - start_time; //знаходження різниці тактів
sec = end_time / 72000000.0f; //переводимо такти в секунди
```

Рисунок 2. Лістинг вимірюючої частини програми для STM32F303VCT6

Усі дослідження проводилися з наступними параметрами інтегрування:
Функція правих частин вигляду (1).

$$\dot{y} = 3\sin(2 \cdot y) + x;$$

```
//досліджувана функція
time = millis(); //отримуємо кількість мілісекунд з початку виконання програми
delay(1000); // чекаємо секунду
```

Рисунок 3. Лістинг вимірюючої частини програми для ATmega328P

Початкові умови: $x = 0$; $y = 3$;

Інтервал: $[0;1]$

Крок інтегрування: 0,001

Результати досліджень приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати дослідження швидкості виконання функцій чисельного інтегрування на мікроконтролерах STM32F303VCT6 і ATmega328P

Мікроконтролер	Швидкодія	Методи				
		Лівих прямокутників	Правих прямокутників	Середніх прямокутників	Метод трапецій	Рунге- Кутта 4 порядку
		Час інтегрування, с				
STM32F303VCT6	90 DMIPS	0,03	0,03	0,03	0,07	0,19
ATmega328P	20 DMIPS	1,1	1,1	1,1	1,2	1,64

Відповідно до отриманих даних, був зроблений висновок, що зі збільшенням складності методу значно збільшується навантаження на мікроконтролер, а отже обчислювальних потужностей може не вистачити на усі інші апаратні складові БІНС.

Окрім цього, значний час інтегрування на ATmega328P робить цей мікроконтролер непридатним для систем, де критична швидкодія. Проте його можна використовувати в якості допоміжного обчислювального модуля для нескладних операцій [8] (ввід/вивід, передача даних тощо).

ВИСНОВОК

У статті проведені дослідження швидкодії мікроконтролерів STM32F303VCT6 та ATmega328P при виконанні операції чисельного інтегрування методами лівих, правих та середніх прямокутників, методом трапецій та Рунге-Кутта 4 порядку. В результаті дослідження отримані результати, що показали не придатність мікроконтролера ATmega328P для роботи у якості обчислювального і одночасно керуючого ядра, проте такий МК може використовуватись у якості допоміжного. При збільшенні складності методу інтегрування, спостерігається значне зростання навантаження на обчислювальний модуль, що у свою чергу може заважати виконувати додаткові функції (керування, фільтрація, обмін даними т.д.).

Отримані результати досліджень показують, що при побудові БІНС на базі одного мікроконтролера у якості як обчислювального так і керуючого ядра, необхідно використовувати сучасні швидкодіючі мікропроцесорні ядра, і дають можливість приблизно оцінити необхідні обчислювальні потужності в

залежності від складності системи, і таким чином, правильно обрати мікроконтролер.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Розробка і дослідження комплексного алгоритму інерціальної системи оцінки параметрів руху людини / С. Л. Лакоза, В. В. Мелешко // Технологический аудит и резервы производства. - 2016. - № 1(2). - С. 56-68. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_1%282%29__11
- [2] Побудова курсовертикалі з розділенням каналів корекції. Частина 1: теоретичні основи розділення каналів корекції / С. Л. Лакоза, В. В. Мелешко // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Сер. : Приладобудування. - 2013. - Вип. 46. - С. 5-13. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_prylad_2013_46_3
- [3] Цифровая фильтрация в системе контроля вибрации авиационных двигателей/ Н.И. Бурау, А.М. Павловский // Вісник інженерної академії України. – 2012. – №3-4. – С. 18-23.
- [4] STM32F303xB STM32F303xC. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f303vc.pdf>, вільний.
- [5] ATmega328. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATmega328.pdf>, вільний.
- [6] Начинаем изучать Cortex-M на примере STM32. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://habrahabr.ru/post/216843/> - 24.03.2014
- [7] Cortex-M4.Revision r0p0.Technical Reference Manual.[Електронний ресурс] – Режим доступу: http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ddi0439b/DDI0439B_cortex_m4_r0p0_trm.pdf, вільний.
- [8] Повышение точности инерциального измерительного модуля на MEMS-датчиках / А. В. Кузнецов, А. М. Павловский // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування. - 2015. - Вип. 50. - С. 5-11. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_prylad_2015_50_3