

УДК 004.9:681.3

DOI: 10.20998/2411-0558.2020.01.06

М. В. ДЕРКАЧ, канд. техн. наук, доц. каф. КНІ, СХУ ім. В. Даля,
Сєверодонецьк

Д. С. МАТЮК, студент, СХУ ім. В. Даля, Сєверодонецьк

АЛЬТЕРНАТИВНИЙ МЕТОД ДЛЯ РОБОТИ З ДАТЧИКОМ MPU-6050 ПО ШИНІ ДАНИХ I²C

Стаття присвячена питанню розробки методу для роботи з датчиком MPU-6050 по шині даних I²C, що дозволить підключити додаткові датчики завдяки використанню вільних контактів мікроконтролера. Для перевірки роботи розробленого методу отримано результати обміну даними між мікроконтролером STM32 та модулем GY-521, при використанні альтернативних контактів мікроконтролера замість традиційних. Лл.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: метод; датчик; шина даних; мікроконтролер; контакт; обмін даними.

Постановка проблеми. Останнім часом безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали дуже популярними і водночас корисними, так як здатні виконувати широкий спектр завдань. Особливий інтерес представляють невеликі БПЛА мультіроторного типу завдяки тому, що вони легкі, маневрені, відносно дешеві. Однією з області застосування апаратів даного типу є моніторинг різних параметрів навколишнього середовища з використанням додаткового обладнання на борту [1]. Для створення таких БПЛА потрібно вирішити ряд задач: ефективне управління двигунами, стабілізація польоту, загальне управління польотом, координація в просторі і захист від зіткнень, управління живленням, навігація, зв'язок з оператором, тощо [2 – 4]. При вирішенні задачі стабілізації польоту необхідно визначати положення БПЛА в трьох площинах, для цього використовуються різні (мікроелектромеханічні системи) МЕМС-датчики: акселерометри, гіроскопи, магнітометри. Щодо задачі координації в просторі, то для забезпечення необхідного рівня безпеки необхідно контролювати параметри польоту і вчасно визначати перешкоди. Для цього застосовується цілий спектр різних датчиків: датчиків висоти, наближення та інших. Більшу частину обчислювальних функцій: прийом і обробку даних з датчиків положення, формування керуючих сигналів для контролерів двигунів, роботу з датчиками наближення і запобігання зіткнень з об'єктами, взаємодія з оператором, збір даних про стан навколишнього середовища виконує мікроконтролер. На етапі проектування важливо правильно підібрати конфігурацію БПЛА, визначити комунікаційний зв'язок, а саме невеликі БПЛА використовують інтерфейс I²C, який є простим і має низьку ціну

© М.В. Деркач, Д.С. Матюк, 2020

реалізації.

У зв'язку з чим, виникає питання, щодо менш витратній за ціною конфігурації БПЛА з можливістю підключення додаткових датчиків, щоб спростити калібрування при помилках орієнтації та стабілізувати політ.

Стабілізація польоту, зазвичай, проводиться бортовим мікроконтролером на підставі інформації, отриманої від акселерометра і гіроскопа, одночасне застосування яких передбачено в модулі GY-521 на мікросхемі MPU-6050. Область застосування модулю досить широка, а саме для координації різних пристроїв – від просто детектора руху до системи орієнтації різних роботів або управління рухами будь-якими пристроями. Але у стані спокою гіроскоп видає не нуль, а дуже маленьке число, відмінне від нуля, так званий "дрейф нуля". Для остаточного отримання орієнтації в просторі потрібен ще один вектор, який не буде збігатися з вектором прискорення вільного падіння Землі та визначатиметься завдяки магнітometру, що спрощує процес калібрування при помилках орієнтації. Тобто, для точного визначення кутових координат апарату необхідно використати три датчика: акселерометр, гіроскоп і магнітметр. Безсумнівно, існують сенсори руху, які об'єднують усі три необхідні датчика, но суттєвою перевагою модуля GY-521 є низька вартість і низьке енергоспоживання.

Щодо можливості підключення додаткових датчиків, магнітметра або датчиків для координації в просторі, то необхідно організувати альтернативний комунікаційний зв'язок для спрощення калібрування при помилках орієнтації та стабілізації польоту БПЛА. Тобто необхідно розробити метод обміну даними між мікроконтролером та сенсором руху, що дозволяє нарощувати кількість пристроїв за рахунок використання вільних контактів мікроконтролера, не навантажуючи його пам'ять. Розробка такого методу є не лише науковою новизною роботи, а й ключовим етапом при вирішенні задач стабілізації польоту та координації в просторі для створення БПЛА.

Аналіз літератури. Автори [5] розробили систему для тестування вимірювального блоку, який включає датчик тиску, датчик магнітного поля й інерційний вимірювальний блок MPU-6050. Також в роботі помічено, що останні досягнення в розвитку MEMS-технологій дозволяють робити датчики надзвичайно маленькими і легкими, це дозволяє зробити БПЛА значно легше і нести більше корисного навантаження в залежності від завдань, для яких вони призначені. Автори [6] стверджують, що система визначення кута нахилу і швидкості багатороторного коптера займає перше місце через свою важливу роль в стабілізації. У статтях [7, 8] обговорюються особливості MEMS-гіроскопа, що входить до складу вимірювальної системи MPU6050. Така

система також має цифровий інтерфейс I²C для отримання даних з датчиків. Автори [9, 10] стверджують, що шина I²C забезпечує надійний, високошвидкісний двосторонній зв'язок між пристроями при використанні мінімальної кількості контактів введення-виведення. Для роботи з пристроями по шині I²C використовують бібліотеку, відповідну мікроконтролеру. У роботі [11] пропонується метод зв'язку пристроїв, підключених до шини, для того, щоб збільшити кількість пристроїв, а також поліпшення їх здатності підключення і відключення. Проведений огляд свідчить, що обмін даними по шині I²C між мікроконтролером та сенсором руху можливо організувати за рахунок використання бібліотеки, відповідній мікроконтролеру, але, в такому випадку, підключення пристроїв здійснюється по контактах за замовчуванням, що виключає збільшення кількості пристроїв та потребує завантаження самої бібліотеки в пам'ять мікроконтролера. Вирішення цієї проблеми можливо за рахунок розробки альтернативного методу для роботи з модулем GY-521 по шині даних I²C з мікроконтролером STM32. У даній розробці було вирішено використовувати мікроконтролер STM32, продуктивності якого досить для виконання необхідних задач.

Метою статті є розробка методу зв'язку пристроїв по інтерфейсу I²C, що дозволить підключити додаткові датчики завдяки використанню вільних контактів мікроконтролера, не навантажуючи його пам'ять.

Основний зміст роботи. Мікросхема MPU-6050 – головний елемент модуля GY-521 – об'єднала в одному корпусі 3х-осевий гіроскоп і 3х-осевий акселерометр [12]. Інерційний гіроскоп здатний миттєво реагувати на сили, які надають тиск на БПЛА, і надавати необхідну навігаційну інформацію польоту, а саме, зміни атрибутів обертання, тобто вимірювати кут повороту щодо певної точки. В той час як акселерометр вимірює зміщення, точніше, поточну швидкість прискорення БПЛА. Обробка даних здійснюється за допомогою 16-бітового аналого-цифрового перетворювача на кожному каналі, що обробляє значення x , y і z одночасно. Мікросхема містить сигнальний процесор DMP (Digital Motion Processor), що необхідний для того, щоб обробляти дані, отримані з датчиків гіроскопа і акселерометра із застосуванням алгоритмів Motion Fusion [13], які потім передаються зовнішньому мікроконтролеру по шині I²C з тактовою частотою 400 кГц. Все це робиться для того, щоб підвищити точність одержуваних даних та стабілізувати політ БПЛА, так як при обробці даних на мікроконтролері точність може постраждати через зниження швидкості їх обробки. Модуль також містить на платі вбудований датчик температури, призначений для вимірювання температури і має діапазон вимірювань

від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$, та необхідну обв'язку MPU6050, в тому числі резистори інтерфейсу I²C, й стабілізатор напруги на 3,3 вольт з малим падінням напруги, з фільтруючими конденсаторами. У даному проекті послідовна шина даних I²C (Inter-Integrated Circuit) використовується для реалізації внутрішнього зв'язку між мікроконтролером (МК) STM32 з модулем GY-521, датчик MPU-6050 якого завжди виступає в якості підлеглого пристрою. Цей інтерфейс використовує дві лінії: одна лінія – лінія даних SDA (Serial DAta) здійснює передачу даних обома пристроями одночасно, інша – лінія синхронізації SCL (Serial Clock) передає такти, тобто обидва пристрої посиляють інформацію з однаковою швидкістю; а також два дроти живлення VCL (+ 3,3 В) та GNS (земля). Інтерфейс I²C у STM32 може працювати в режимі Master або Slave.

Традиційний метод обміну даними по шині I²C між МК та сенсором руху можливо організувати за рахунок використання бібліотеки, відповідній МК, в даному випадку, для роботи можна застосовувати бібліотеку MPU6050 для STM32Fxxx, що підтримує базові операції з пристроєм MPU6050: зчитування даних акселерометра, гіроскопа і температури; установка користувальницької швидкості виведення даних для вимірювань; включення / відключення переривань; підтримка до 2 пристроїв MPU одночасно. При традиційному методі зв'язку пристроїв в пам'ять мікроконтролера необхідно завантажувати окрім програмного коду драйверів та логіки управління польотом, ще й саму бібліотеку для роботи з периферією мікроконтролера, що додатково навантажує його пам'ять.

Бібліотека налаштовує за замовчуванням датчик на діапазон $\pm 8\text{g}$ (можливі значення $\pm 2\text{g}$, 4g , 8g і 16g), для 16 розрядного АЦП датчика – це значення від -215 до 215 , тому можливі значення $\pm 215/16*8$, тобто від -16384 до 16384 . Бібліотека MPU6050 заснована тільки на стандартних периферійних драйверах для серії STM32F4xx, тобто дозволяє використовувати шину даних I²C на портах МК завдяки апаратним особливостям та розташуванню таймерів (рис. 1).

Підключення мікроконтролера STM32 з датчиком MPU6050 по шині даних I²C наведено у табл. 1.

Але існують інші контакти, до яких можна підключити додатковий датчик (магнітометр) для зменшення помилок орієнтації в просторі БПЛА, й які можна використовувати при роботі з шиною даних I²C при розведенні друкованої плати. Для цього розроблено альтернативний метод зв'язку пристроїв.

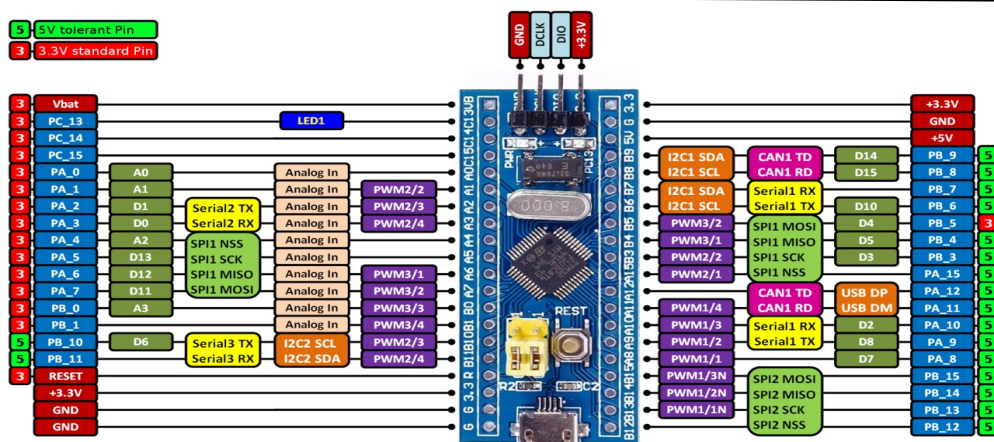


Рис. 1. Апаратні особливості та розташування таймерів на портах МК STM32

Таблиця 1
Використані контакти за замовчуванням

MPU6050	STM32Fxxx
SCL	PB6
SDA	PB7
IRQ	-
VCL	3,3 B
GND	GND
AD0	-

Розроблений метод призначено для роботи з датчиком MPU-6050 по шині даних I^2C , що дозволяє підключити додаткові датчики завдяки використанню вільних контактів мікроконтролера STM32 для спрощення процесу калібрування польоту.

Метода складається з наступних етапів:

- 1) налаштування датчика MPU-6050, а саме завдання значень чутливості сенсора і діапазону вимірювань;
- 2) ініціалізація контакту для тактування шини I^2C і контакту для передачі даних;
- 3) налаштування контакту для обробки сигналу для переривання;
- 4) опитування параметрів сенсора.

Для перевірки роботи методу мікроконтролер STM32 підключено до модулю GY-521. Схема підключення зображена на рис. 2. У модулі GY-521 встановлено режим роботи, значення чутливості та налаштовано на діапазон вимірювань датчика MPU-6050 $\pm 8g$.

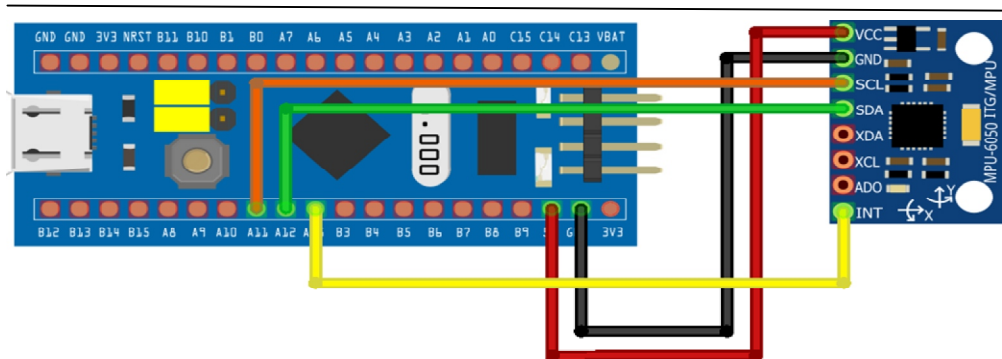


Рис. 2. Схема підключення МК STM32 з модулем GY-521

На схемі видно, що контакт A11 відповідає за тактування шини I²C, контакт A12 – за передачу даних, а контакт A15 – для реалізації переривання щодо заповнення буфера пам'яті в MPU6050.

Перед використанням шини даних I²C необхідно проініціалізувати контакти:

```
void i2c_init (void)
{
    GPIOA->CRH &=~ (GPIO_CRH_CNF12|GPIO_CRH_CNF11);
    GPIOA->CRH |= (GPIO_CRH_MODE12|GPIO_CRH_MODE11);
    GPIOA->CRH |= (GPIO_CRH_CNF12_0);
    delay(10);
    i2c_start();
    i2c_stop();
}
```

Мікросхема MPU6050 має програмовану систему переривань, яка може генерувати сигнал переривання на контакті INT, на якому формується імпульс кожен раз, коли змінюється стан контактів. Налаштування контакту A15 для обробки сигналу для переривання:

```
void Exti_init(void)
{
    AFIO->EXTICR[3] &=~ (1<<15|1<<14|1<<13|1<<12);
    EXTI->IMR |= 1<<15;
    EXTI->EMR |= 1<<15;
    EXTI->FTSR |= 1<<15;
    NVIC_EnableIRQ(EXTI15_10_IRQn);
}
```

Для перевірки роботи розробленого методу зчитування даних з регістрів датчика виконується наступним чином: переривання виникають близько 45 разів за секунду, кожне переривання триває близько 22

мілісекунд, за одне переривання обробляється 14 показників датчика відповідно за адресами. Показання гіроскопа є дискретними, тому інтегрувалися мікроконтролером для визначення кута відхилення від початкового положення.

Обмін даними, в свою чергу, здійснюється наступним чином: після відправки модулю команди про початок вимірів відбувається постійне цифрове представлення показань з усіх осей датчика при русі БПЛА. Залишається тільки зчитувати байти з необхідних регістрів. Частота запису нових даних в ці регістри АЦП залежить від попередніх налаштувань чутливості сенсора і діапазону вимірювань. Довжина даних, що передаються по лінії SDA, завжди дорівнює 8 бітів, включаючи команди читання/запису. Кожний байт повинен закінчуватися бітом підтвердження.

На рис. 3 представлені отримані практично результати показань гіроскопа при обертанні БПЛА в різні сторони.

На рис. 3 наведені діаграми посилки інтерфейсу I²C, де жовта лінія демонструє лінію синхронізації SCL, а синя – лінію даних SDA. Інтерфейс I²C працює за стандартною схемою, за замовчуванням – режим Slave, що автоматично перемикається на Master після генерування старт-умови. Перемикаання з Master на Slave відбувається після генерування стоп-умови. У режимі Master I²C ініціює обмін даними і генерує тактовий сигнал. Тобто передачі послідовних даних завжди передують старт-умова, а завершується обмін завжди стоп-умовою. Обидві ці умови генеруються в режимі Master програмно. У режимі Slave I²C здатний розпізнати власну адресу (7 біт) і адресу загального виклику. Визначення наявності адреси загального виклику можна включити або відключити також програмно.

Адреса і дані передаються 8-бітними посилками, старшим бітом вперед. Перший байт, наступний за старт-умовою, містить адресу (один байт). Адреса завжди передається в режимі Slave. За 8 тактами передачі байту даних слідує 9-й такт, протягом якого приймач повинен послати біт повідомлення ACK (ACKnowledge). Наявність повідомлення у відповіді можна програмно включити або відключити. Гіроскопи схильні до нестабільності зсуву нуля, при якій початкова нульова точка гіроскопа дрейфує в часі через інтегрування стану кута положення, тобто інтегрується похибка. Стабільність зміщення можливо відкалібрувати в заданому температурному діапазоні сенсора, або використовувати гіроскоп в парі з акселерометром. Оскільки, використаний в роботі модуль GY-521 об'єднав і гіроскоп, і акселерометр, перевіримо роботу акселерометра в запропонованих двох методах обміну даними між МК STM32 та сенсором руху.

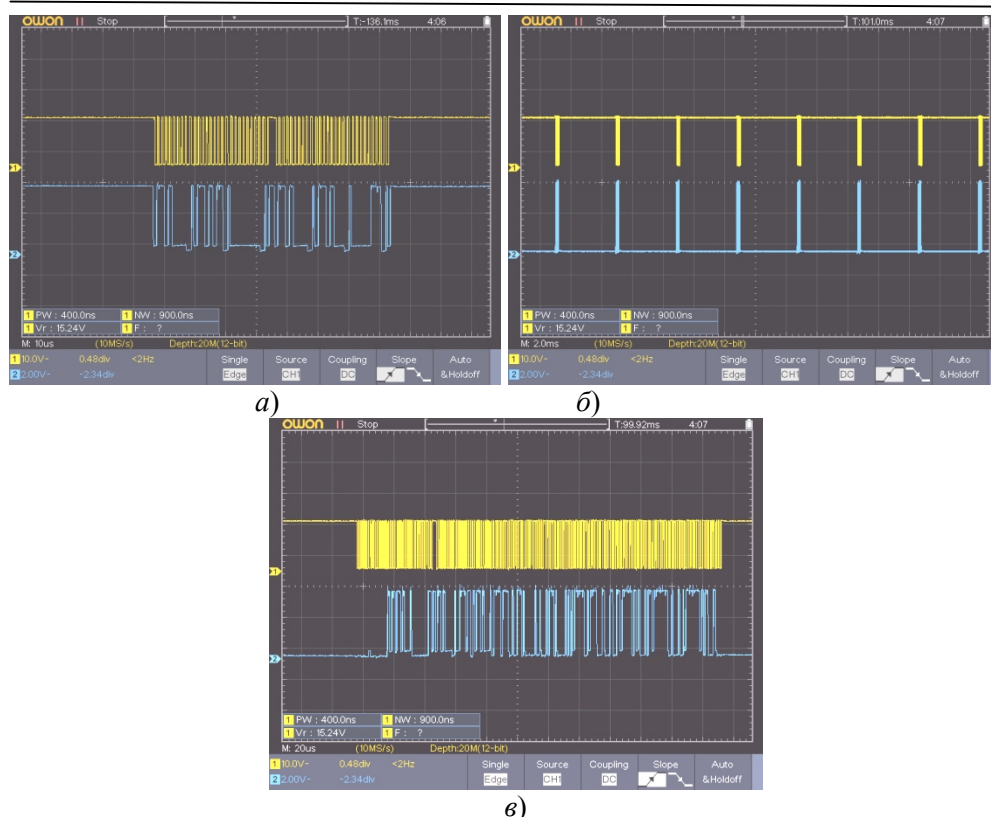
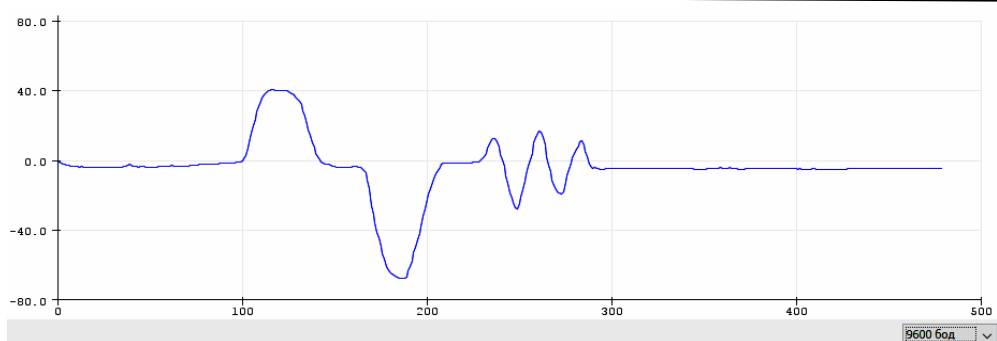


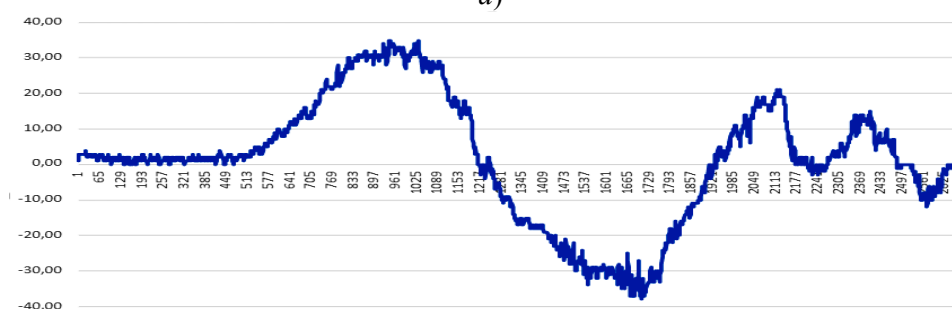
Рис. 3. Показання гіроскопа внаслідок: а) настройки чутливості сенсора, б) обробки сигналу для переривання, в) опитування параметрів сенсора

В першому випадку, використано бібліотеку MPU6050 для STM32Fxxx (рис. 4, а), а в другому – розроблений альтернативний метод (рис. 4, б), для відображення показань акселерометра по одній з осей – осі x .

Обидва графіка на рис. 4 демонструють показання акселерометра, тобто кут нахилу, обертаючи датчик по осі x в одну й іншу сторони. Виходячи з експериментальних даних, точність значень градуса тримається цілком стабільно в обох випадках, про це свідчить схожість графіків. Характер графіку на рис. 4б обумовлено тим, що показники датчика обробляється за одне переривання, а переривання виникають близько 45 разів за секунду, тобто висока частота опитування датчика, що можливо корегувати програмно.



а)



б)

Рис. 4. Показання акселерометра по осі x : а) традиційний метод зв'язку пристроїв, б) альтернативний метод зв'язку пристроїв

Дані від акселерометра завжди досить точні, нуль завжди залишається нулем при будь-яких впливах, однак недолік полягає в тому, що показники йдуть з шумом в деякому діапазоні даних, тобто для остаточного отримання орієнтації в просторі та стабілізації польоту БПЛА потрібен ще магнітометр, а підключення додаткового датчика можливо лише в розробленому методі.

Висновки. В роботі представлено традиційний обмін даними між мікроконтролером STM32 та модулем GY-521 та розроблений метод зв'язку пристроїв по інтерфейсу I²C, що дозволить збільшення кількості пристроїв завдяки використанню вільних контактів мікроконтролера, не навантажуючи його пам'ять, тим самим спростити калібрування при помилках орієнтації та стабілізувати політ БПЛА. Отримані результати свідчать, що розроблений метод повністю імітує роботу з сенсором без втрати точності даних при менш витратній за ціною конфігурації БПЛА. Наступним кроком буде використання комплементарного фільтру, для того щоб за допомогою показань акселерометра нівелювати "дрейф нуля" гіроскопа та помилки дискретного інтегрування.

Список літератури:

1. Жукаускас С.В. Системы мобильного экологического мониторинга обращения с опасными отходами с использованием беспилотных летательных аппаратов / С.В. Жукаускас, К.В. Сметанин // *Аерокосмічні технології*. – 2017. – № 2 (02). – С. 66–76.
2. Keke G. A fuzzy controller: Using monocular computer vision to see and avoid obstacle for quadcopter / G. Keke, L. Wei, T. Liguu // 5th intern. workshop on computer science and engineering: Information processing and control engineering: WCSE 2015-IPSE: Proc. Chenghu: Science and Engineering Inst. – 2015.
3. McGuire K. Efficient Optical Flow and Stereo Vision for Velocity Estimation and Obstacle Avoidance on an Autonomous Pocket Drone / K. McGuire, G. de Croon, C. De Wagter, K. Tuyls and H. Kappen // *IEEE Robotics and Automation Letters*. – 2017. – Vol. 2, no. 2. – P. 1070–1076.
4. Li K. Self-positioning for UAV indoor navigation based on 3D laser scanner, UWB and INS / K. Li, C. Wang, S. Huang, G. Liang, X. Wu and Y. Liao // *IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, Ningbo. – 2016. – P. 498–503.
5. Vasylenko M.P. Testing System for Unmanned Aerial Vehicles Microelectromechanical Sensors / M.P. Vasylenko // *IEEE 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*. – 2017. – P. 180–183.
6. Albaghdadi A.F. An Optimized Complementary Filter For An Inertial Measurement Unit Contain MPU6050 Sensor / A.F. Albaghdadi, A.A. Ali // *Iraqi Journal for Electrical & Electronic Engineering*. – 2019. – Vol. 15. – Issue 2. – P. 71–77.
7. Федоров Д.С. Использование измерительной системы MPU 6050 для определения угловых скоростей и линейных ускорений / Д.С. Федоров, А.Ю. Ивойлов, В.А. Жмудь, В.Г. Трубин // *Автоматика и программная инженерия*. – 2015. – № 1 (11). – С. 76–81.
8. Жмудь В.А. Акселерометр и гироскоп MPU6050: первое включение на STM32 и исследование показаний в статике / Д.А. Жмудь, К.А. Кузнецов, Н.О. Кондратьев, В.Г. Трубин, М.В. Трубин // *Автоматика и программная инженерия*. – 2018. – № 3 (25). – С. 9–22.
9. Blum J. The I2C Bus / J. Blum // In Blum, J. – (Ed.), *Exploring Arduino®*. – 2019. – 478 p. <https://doi.org/10.1002/9781119405320.ch10>
10. Kumari R.S.S. Interfacing of MEMS motion sensor with FPGA using I²C protocol / R.S.S. Kumari, C. Gayathri // *International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*. – 2017. – P. 1–5.
11. Guerrero J.M.G. Redes de Sensores I2C Inteligentes / J.M.G. Guerrero, J.A. Holgado-Terriza, J.L. Muros-Cobos, G. Pomboza-Junes // *XXIV Jornadas de Concurrencia y Sistemas Distribuidos*. – 2016. – Vol. 1. https://www.researchgate.net/publication/304102399_Redex_de_Sensores_I2C_Inteligentes.
12. MPU-6050 Datasheet (PDF) – TDK Electronics, available at: www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132807/TDK/MPU-6050.html.
13. MPU-6050 Datasheet (PDF) – List of Unclassified Manufacturers, available at: www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/517744/ETC1/MPU-6050.html.

References:

1. Zhukauskas, S.V., Smetanin, K.V. (2017), "Systems of mobile environmental monitoring of handling with dangerous waste with the use of unmanned aerial vehicles", *Aerospace technologies*, Vol. 2, no. 2, pp. 66-76.
2. Keke, G., Wei, L., Liguu, T. (2015), "A fuzzy controller: Using monocular computer vision to see and avoid obstacle for quadcopter", *5th intern. workshop on computer science and*

engineering: Information processing and control engineering: WCSE 2015-IPSE: Proc. Chenghu: Science and Engineering Inst.

3. McGuire, K., De Croon, G., De Wagter, C., Tuyls, K., and Kappen, H. (2017), "Efficient Optical Flow and Stereo Vision for Velocity Estimation and Obstacle Avoidance on an Autonomous Pocket Drone", *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 2, No. 2, pp. 1070-1076.
4. Li, K., Wang, C., Huang, S., Liang, G., Wu, X., and Liao, Y. (2016), "Self-positioning for UAV indoor navigation based on 3D laser scanner, UWB and INS", *IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, Ningbo, pp. 498–503.
5. Vasylenko, M.P. (2017), "Testing System for Unmanned Aerial Vehicles Microelectromechanical Sensors", *IEEE 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)*, pp. 180–183.
6. Albaghdadi, A.F., and Ali, A.A. (2019), "An Optimized Complementary Filter For An Inertial Measurement Unit Contain MPU6050 Sensor", *Iraqi Journal for Electrical & Electronic Engineering*, Vol. 15, Issue 2, pp. 71–77.
7. Fedorov, D.S., Ivoylov, A.Y., Zhmud, V.A., and Trubin, V.G. (2015), "Using of Measuring System MPU6050 for the Determination of the Angular Velocities and Linear Accelerations". *Automatics & Software Enginery*, No.1 (11), pp. 76–81.
8. Zhmud, V.A., Kuznetsov, K.A., Kondratyev, N.O., Trubin, V.G., and Trubin, M.V. (2018), "Accelerometer and Gyroscope MPU6050; the First Inclusion on STM32 and the Study of its Indications in Statics". *Automatics & Software Enginery*, No. 3 (25), pp. 9–22.
9. Blum, J. (2019), *The I2C Bus*. In Blum, J. (Ed.), *Exploring Arduino®*, 478 p., <https://doi.org/10.1002/9781119405320.ch10>
10. Kumari, R.S.S., and Gayathri, C. (2017), "Interfacing of MEMS motion sensor with FPGA using I2C protocol". *International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, pp. 1–5.
11. Guerrero, J.M.G., Holgado-Terriza, J.A., Muros-Cobos, J.L., and Pomboza-Junes, G. (2016), "Redes de Sensores I2C Inteligentes". *XXIV Jornadas de Concurrencia y Sistemas Distribuidos*, Vol. 1, https://www.researchgate.net/publication/304102399_Redde_de_Sensores_I2C_Inteligentes.
12. MPU-6050 Datasheet (PDF) – TDK Electronics, available at: www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132807/TKD/MPU-6050.html.
13. MPU-6050 Datasheet (PDF) – List of Unclassified Manufacturers, available at: www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/517744/ETC1/MPU-6050.html.

Статтю представила д-р техн. наук, проф., зав. каф. ЧНУ ім. В. Даля Скарга-Бандурова І.С.

Надійшла (received) 10.11.2020

Derkach Maryna, PhD
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
59-a Central avenue, Severodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93400
Tel.: (064) 522-89-97, e-mail: glu459@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-8977-2776

Matiuk Danylo, student
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
59-a Central avenue, Severodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93400
Tel.: (064) 522-89-97, e-mail: dmayuk@mail.com
ORCID ID: 0000-0001-5851-8433

УДК 004.9:681.3

Альтернативний метод для роботи з датчиком MPU-6050 по шині даних I²C / Деркач М.В., Матюк Д.С. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2020. – № 2 (4). – С. 105 – 117.

Стаття присвячена питанню розробки методу для роботи з датчиком MPU-6050 по шині даних I²C, що дозволить підключити додаткові датчики завдяки використанню вільних контактів мікроконтролера для стабілізації польоту БПЛА. Під час перевірки роботи розробленого методу отримано результати обміну даними між мікроконтролером STM32 та модулем GY-521, при використанні альтернативних контактів мікроконтролера замість традиційних. Ил.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 13 назв.

Ключові слова: метод; датчик; шина даних; мікроконтролер; контакт; обмін даними.

УДК 004.9:681.3

Альтернативный метод для работы с датчиком MPU-6050 по шине данных I²C / Деркач М.В., Матюк Д.С. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2020. – № 2 (4). – С. 105 – 117.

Статья посвящена вопросу разработки метода для работы с датчиком MPU-6050 по шине данных I²C, что позволит подключить дополнительные датчики благодаря использованию свободных контактов микроконтроллера для стабилизации полета БПЛА. Во время проверки работы разработанного метода получены результаты обмена данными между микроконтроллером STM32 и модулем GY-521 при использовании альтернативных контактов микроконтроллера вместо традиционных. Ил.: 4. Табл.: 1. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: метод; датчик; шина данных; микроконтроллер; контакт; обмен данными.

UDC 004.9:681.3

Alternative method for working with MPU-6050 sensor on I²C data bus / Derkach M.V., Matiuk D.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2020. – № 2 (4). – P. 105 – 117.

The article was devoted to the development of method for working with MPU-6050 sensor on I²C data bus, which will connect additional sensors through the use of free microcontroller contacts to stabilize the UAV flight. During the verification of the developed method, the results of data exchange between STM32 microcontroller and GY-521 module were obtained using alternative contacts of the microcontroller instead of traditional ones. Figs.: 4. Tabl.: 1. Refs.: 13 titles.

Keywords: method; sensor; data bus; microcontroller; contact; data exchange.