

6. Methylation of protein aspar-tates and deamidated asparagines as a function of blood bank storage and oxidative stress in human red blood cells / J. A. Reisz, T. Nemkov, M. Dzieciatkowska, R. Culp-Hill, D. Stefanoni, R. C. Hill, T. Yoshida, A. Dunham, T. Kanias, L. J. Dumont, M. Busch, E. Z. Eisenmesser, J. C. Zimring, K. C. Hansen, A. D'Alessandro. *Transfusion*. 2018. № 58(12). P. 2978–2991. DOI: 10.1111/trf.14936.
7. Ekegren T., Aquilonius S. M., Gomes-Trolin C. A comparative study of methionine adenosyltransferase activity and regional distribution in mammalian spinal cord. *Biochem Pharmacol*. 2000. Vol. 60(3). P. 441–445. DOI: 10.1016/s0006-2952(00)00316-6.
8. Methionine adenosyltransferase activity in erythrocytes and spinal cord of patients with sporadic amyotrophic lateral sclerosis / T. Ekegren, H. Askmark, S.-M. Aquilonius, C. Gomes-Trolin. *Experimental Neurology*. 1999. Vol. 158(2). P. 422–427. DOI: 10.1006/exnr.1999.7112.
9. Иващенко А. Т., Ли Т. Т., Бушнева И. А. Свойства анионной АТФазы эритроцитов. *Вопросы медицинской химии*. 1985. Т. 31. № 1. С. 117–121.
10. Рязанцев Н. В., Новицкий В. В. Структурные нарушения и изменения активности Na-K-АТФазы в мембранах эритроцитов у пациентов с невротическими расстройствами. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2002. Т. 134. № 7. С. 85–88.
11. Макаренко Е. В. АТФ-азная активность эритроцитов при хронических заболеваниях печени и желудка. *Лабораторное дело*. 1987. № 2. С. 14–17.
12. Якушева И. А., Орлова Л. И. Метод определения активности аденозинтрифосфатаз в гемолизатах эритроцитов крови человека. *Лабораторное дело*. 1970. № 8. С. 497–501.
13. Кушаковский М. С. Клинические формы повреждения гемоглобина. Ленинград: Медицина. 1968. 324 с.
14. Пупкова В. И. Определение гемоглобина в крови: информационно-методическое пособие. Кольцово. 2001. С. 4–8.
15. Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. 2-е изд. СПб.: Питер. 2003. 688 с.
16. Kaplan J. H. Biochemistry of Na⁺, K⁺-ATPase. *Annual Review of Biochemistry*. 2002. Vol. 71. P. 511–535. DOI: 10.1146/annurev.biochem.71.102201.141218.
17. Schuster S., Kenanov D. Adenine and adenosine salvage pathways in erythrocytes and the role of S-adenosylhomocysteine hydrolase. *A theoretical study using elementary flux modes. The FEBS Journal*. 2005. 272(20). P. 5278–5290. DOI: 10.1111/j.1742-4658.2005.04924.x.
18. Корендясева Т. К. Регуляция метаболизма метионина в суспензии свежевыделенных гепатоцитов: дис. ... канд. биол. наук: 03.01.02-биофизика. Москва. 2011. 117 с.

УДК 685.648.683

КОМПЕНСАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ У ТРЕНАЖЕРІ «БОКСЕРСЬКА ГРУША»

Ю. В. Сіряк, Д. В. Чернов

Анотація. У дослідженні реалізовано температурну компенсацію даних датчика, які є залежними від температури. Побудовано експериментальний графік залежності показників гіроскопа від температури. За допомогою метода найменших квадратів отримано коефіцієнти лінійної апроксимації для лінійної області цієї залежності.

Ключові слова: Wi-Fi, компенсація, апроксимація, ESP32, MPU6050.

Існує безліч різновидів бездротового зв'язку, але найважливішою особливістю бездротових мереж є те, що зв'язок здійснюється між комп'ютерними пристроями. Це забезпечує свободу пересування та можливість використання додатків, що знаходяться в інших частинах будинку, міста або у віддаленому куточку світу [1].

Боксерська груша – це тренажер для боксу та інших видів єдиноборств, який стосується спорту і конструкції навчально-тренувальних снарядів для контролю і відпрацювання ударів у боксі та інших видах силових єдиноборств [1].

Під час вимірювання різноманітних показників стану об'єкта завжди є температурна залежність, яку мають типові датчики. Цю залежність необхідно компенсувати, оскільки температура ніколи не буває постійною, тому потрібно врахувати цю залежність під час вимірювання даних.

Метою дослідження є компенсація температурної залежності в датчику положення MPU6050.

У роботі обрано технологію Wi-Fi для передачі параметрів удару боксера по терміналу. Отримано некомпенсовані (сірі) дані, які є досить неточними. Побудовано графік залежності

показників гіроскопа від температури. Обрано лінійну область для апроксимації з використанням методу найменших квадратів. Знайдено коефіцієнт лінійної залежності. Обрано технологію Wi-Fi як бездротову технологію передачі даних у складі системи [2].

Оновлення ESP32 [3] випустив Espressif (напівпровідникова компанія, що стоїть за ESP8266) [4]. Він є наступником ESP8266 та підтримує Wi-Fi. Також має Bluetooth 4.0 (BLE / Bluetooth Smart) – підходить для будь-якого проекту IoT [3].

MPU6050 – це пристрій IMU, що означає інерційний вимірювальний пристрій. Це пристрій відстеження руху по шести осях, який обчислює дані тривісного акселерометра та тривісного гіроскопа. Найбільшою перевагою цієї плати є цифровий процесор руху. Він дуже точний під час перетворення аналогових даних у біти цифрових даних, оскільки має 16 біт, призначених для кожного каналу. Основні функції MPU6050:

- 3-осьовий гіроскоп;
- 3-осьовий акселерометр;
- 16-бітне перетворення АЦП для кожного каналу;
- 1024-бітний буфер FIFO;
- цифровий вихідний датчик температури;
- вбудований цифровий процесор руху;
- вбудований датчик температури [5].

Оскільки MPU6050 є пристроєм зв'язку I2C, з'єднання з Arduino досить просте. Для взаємодії ESP32 і MPU6050 потрібно було тільки чотири дроти. Для передачі даних із датчика MPU6050 через однорангову мережу до клієнта ESP32 використовується як сервер. У середині локальної мережі відбувається передача даних із мікроконтролера, до якої має бути попередньо підключений мікроконтролер. Через вебсторінку відбувається доступ користувача до даних за адресою мікроконтролера в локальній мережі [2].

Керуючий мікроконтролер розташований усередині груші, яка містить ударний снаряд із наповнювачем. У середині груші розташовані датчик-гіроскоп з акселерометром MPU6050, елементи електроніки, допоміжні елементи, що скріплюють конструкцію, а також Li-Ion батарея живлення, яка під'єднана до ESP32, який має вбудований модуль Wi-Fi. Плата бездротового зв'язку передає інформацію, що знімається з датчика за допомогою мікроконтролера, а далі передається по Wi-Fi на комп'ютер, де вона відображається (див. рис. 1) [2].

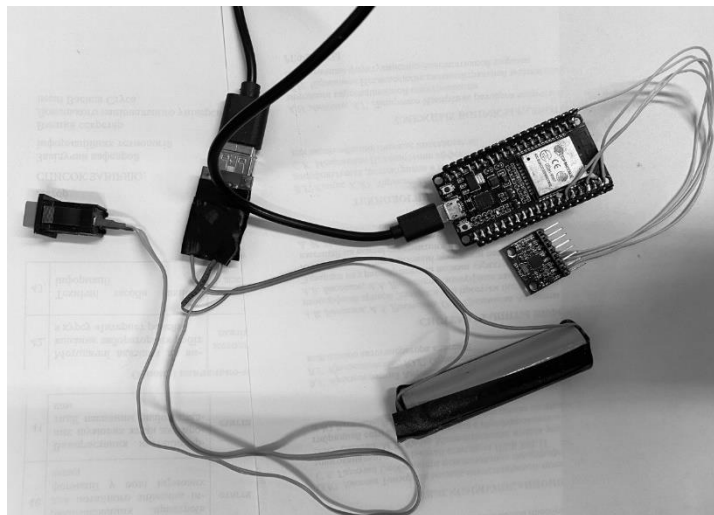


Рис. 1 – Мікроконтролер ESP32 з датчиком MPU6050 та Li-Ion батарея живлення, які розміщені всередині тренажера «Боксерська груша»

Датчик акселерометра видає дані про силу, прикладену до об'єкта, через силу тяжіння, а датчик гіроскопа видає результати щодо кутового зміщення об'єкта за годинниковою стрілкою або проти годинникової стрілки [6].

У програмне забезпечення «Arduino IDE» з відкритим кодом легко написали та завантажили код на плату(ESP-WROOM-32) мовою C /C ++. Відкривши браузер і ввівши IP-адресу ESP32, отримуємо доступ до вебсторінки, яка зображує показники датчика [7].

Датчик положення трохи дрейфує по осі X, незважаючи на деякі зміни в коді – це нормально для подібних мікроконтролерів. Щоб зменшити дрейф, пропонується використовувати додатковий фільтр або фільтр Кальмана [7].

Дані вимірів датчика «в сирому вигляді» є досить неточними. У нашому випадку датчик прискорення використовуються для визначення прискорення боксерської груші. Щоб якомога точніше визначити прискорення груші, необхідно оперувати максимально точними значеннями. Тому для отримання більш точних даних необхідно проводити калібрування перед кожним використанням пристрою. Також навіть після калібрування модулів датчика існує проблема температурного зміщення осей акселерометра та гіроскопа. Це можна спостерігати, якщо закріпити модуль нерухомо і нагрівати або охолоджувати. Оскільки боксерська груша може експлуатуватися за різних температур, необхідно виконати компенсацію цієї температурної залежності [8].

Гіроскопи схильні до нестабільності зміщення, за якої початкове нульове зчитування гіроскопа спричинить дрейф із часом через інтеграцію внутрішніх недоліків і шумів усередині пристрою. Повторюваність зміщення може бути відкалібрована у відомому діапазоні температур IMU. Однак інтегрування постійної нестабільності зміщення призведе до кутової помилки. Ці похибки будуть накопичуватися, оскільки оцінки обертання або кута на основі гіроскопа будуть дрейфувати протягом тривалого періоду. Небажаним результатом дрейфу є те, що похибка обчисленого курсу безперервно зростає. Акселерометри, навпаки, чутливі до вібрації та інших негравітаційних прискорень [8].

Зрозуміло, що коливання температури від морозильної камери до теплової гармати досить значне, але це добре показує, наскільки датчик залежить від зміни температури [9]. Щоб зробити температурну компенсацію, ми закріпили датчик MPU6050, щоб він був у стані спокою. Далі, приклавши лід до датчика, ми збили температуру до 0 °C, а потім нагрівали до 50 °C. Усі показники від 0 °C до 50 °C відображалися в порту Arduino UNO. Коли стало відомо всі показники, ми побудували графік залежності показників гіроскопа від температури. Виберемо лінійну область для апроксимації: координата температури від 3,02 °C до 45,47 °C; координата X гіроскопа від -0,42 °C до -1,12 °C; координата Y гіроскопа від 0,17 °C до 0,34 °C. У гіроскопа Y-коефіцієнт температурної залежності на порядок більший, ніж у будь-якого іншого. Отже, це означає, що гіроскоп Y сильно впливає на температуру [9]. Після обрання лінійної області для апроксимації на графіку добре показано пряму (див. рис. 2):

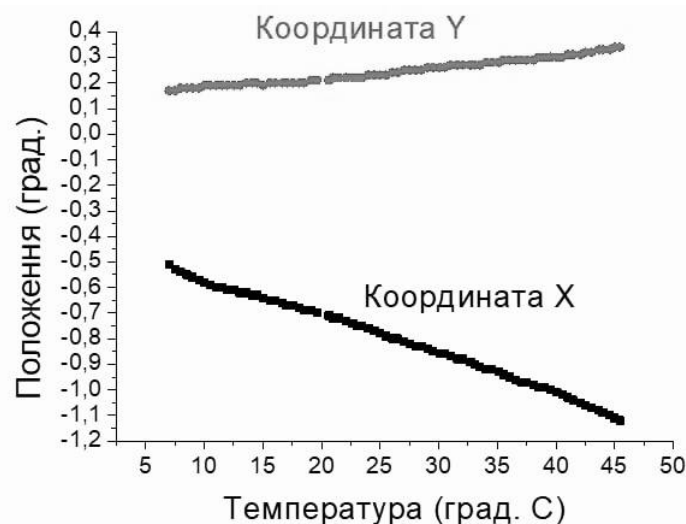


Рис. 2 – Графік залежності показників гіроскопа від температури

Зазвичай для MEMS-датчиків потрібно 10–20 хв для досягнення внутрішньої стабільної температури після ввімкнення живлення, тому зміни температури гіроскопа, викликані продовженням роботи, можуть бути як стимул, що визначає коефіцієнт моделі температурної компенсації гіроскопа через рекурсивний алгоритм найменших квадратів із фактором забування. До того ж коли гіроскоп працює тривалий час, коефіцієнт забування збільшується в алгоритм

ідентифікації для відстеження останньої моделі параметри швидко. Використовуючи метод найменших квадратів, можна апроксимувати отримані «сирі» дані лінійною залежністю [10]:

$$X = a \times t + b \quad (1)$$

де X – скомпенсовані «сирі» дані;

a і b – невідомі коефіцієнти, які потрібно знайти, використавши метод найменших квадратів;

t – поточна температура.

Найбільш відомим і ефективним серед методів розв'язання задачі апроксимації функцій є метод найменших квадратів (МНК), яким ми і будемо користуватися. У роботі була обрана лінійна модельююча функція щодо шуканих коефіцієнтів [10]. Отримано показники осей MPU6050 у статичному положенні при зміні температури. Виконаємо лінійну апроксимацію методом найменших квадратів для отриманих даних (див. рис. 3):

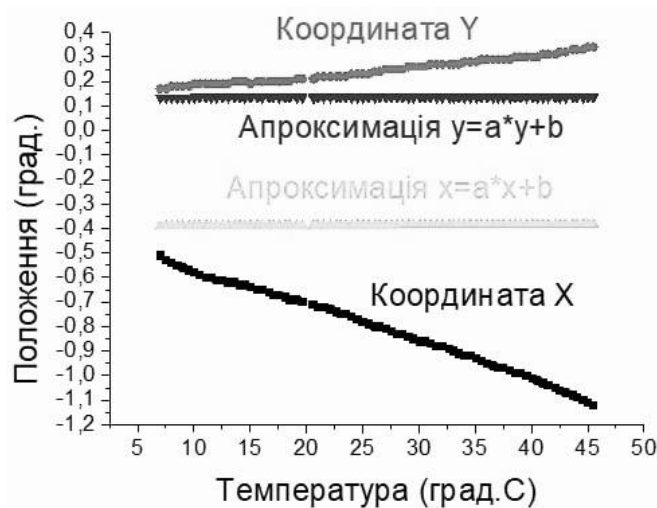


Рис. 3 – Значення координат гіроскопа після апроксимації

Віднявши від сирих значень апроксимовані, отримуємо компенсовані (див. рис. 4):

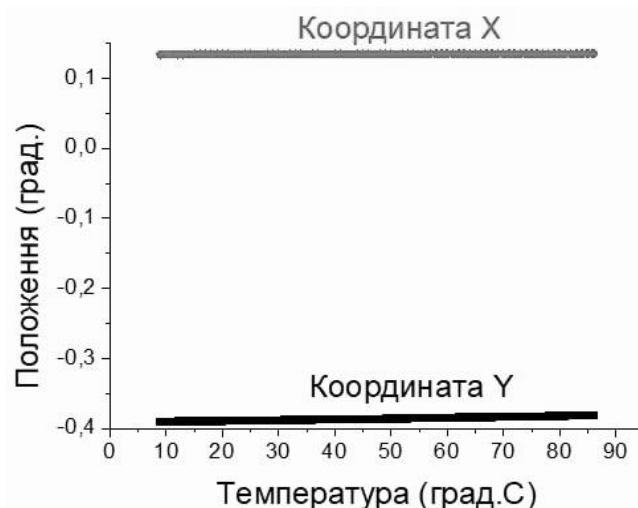


Рис. 4 – Значення координат гіроскопа після компенсації

Для отримання компенсованих даних беремо вхідні «сирі» дані X та підставляємо їх у формулу:

$$X_{comp} = x(t) - dx(t) \quad (2)$$

де X_{comp} – компенсована координата гіроскопа;

$x(t)$ – некомпенсована координата гіроскопа;

$dx(t)$ – похибка, яка викликана дрейфом температури;

$$dx(t) = a(t - t_0) \quad (3)$$

де a – лінійний коефіцієнт;

t – температура;

t_0 – початкова температура.

Коефіцієнт a , який було знайдено раніше за МНК, береться з пам'яті контролера (див. рис. 5):

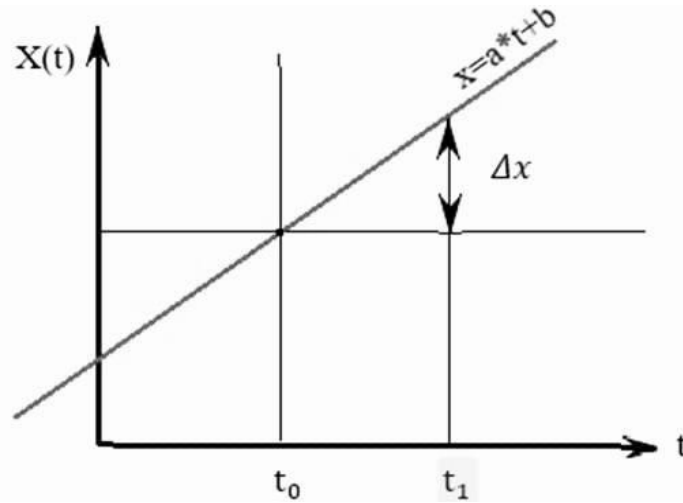


Рис. 5 – Ілюстрація компенсації показників гіроскопа

Висновки. У роботі запропоновано температурну компенсацію даних датчика MPU6050, які є залежними від температури. Побудовано експериментальний графік залежності показників гіроскопа від температури. За допомогою метода найменших квадратів отримано коефіцієнти лінійної апроксимації для лінійній області цієї залежності.

Abstract. In this study, temperature compensation of sensor data, which is dependent on temperature, is implemented. An experimental graph of the dependence of gyroscope indicators on temperature was constructed. Using the method of least squares, coefficients of linear approximation for the linear region of this dependence were obtained.

Keywords: Wi-Fi, compensation, approximation, ESP32, MPU6050.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Geier J. Wireless Networks First-step. 2004. 192 с.
2. Сіряк Ю. В., Чернов Д. В. Безпроводна передача даних у тренажері «Боксерська груша». *Вісник студентського наукового товариства ДонНУ імені Василя Стуса*. 2021. Т. 2. № 13. С. 331–335.
3. Electronic Components Datasheet Search. URL: https://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Search-word=ESP32
4. Insight Into ESP32 Features & Using It With Arduino IDE. *Last Minute Engineers*. 2021. URL: <https://lastminuteengineers.com/esp32-arduino-ide-tutorial/>
5. How to Interface MPU6050 with the Arduino. 19.02.2021. URL: <https://robu.in/mpu6050-with-arduino/>
6. Rachna Aggarwal, Connecting MPU6050 With. 2021. URL: <https://www.instructables.com/Connecting-MPU6050-With-ESP32/>
7. ESP32 Web Server with MPU-6050 Accelerometer and Gyroscope (3D object representation). 2013–2021. URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-mpu-6050-web-server/>
8. The Case of the Misguided Gyro. *Analog Dialogue*. 2017. № 51 (03). URL: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/raqs/raq-issue-139.html>
9. Temperature compensation. It does matter. 09.01.2021. URL: https://slugsuav.soe.ucsc.edu/fllog/files/temperature_compensation.html
10. Тригуб А. О., Пушкар М. В. Використання апроксимації методом найменших квадратів при експериментальному дослідженні механічних характеристик електроприводів. Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу; Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського». 22.12.2016. URL: <http://jour.fea.kpi.ua/article/view/102254>