

УДК 004.932

АНАЛІЗ РУХУ ОБ'ЄКТІВ МЕМС ПРИСТРОЯМИ

Л. Монастирський¹, А. Власов², О. Петришин¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Драгоманова, 50, 79005 Львів, Україна
oleg.lpml@gmail.com

²Львівський державний університет фізичної культури,
вул. Костюшка, 11, 79007 Львів, Україна

Створено недорогу енергоефективну систему контролю динамічних процесів на основі МЕМС гіроскопа-акселерометра GY-521, яка працює на інтерфейсі I2C з мікроконтролером Arduino Leonardo та застосуванням радіочастотних модулів nRF24L01⁺. Доведено, що такі системи можна застосувати для вдосконалення тренувального процесу спортсменів і контролю динаміки фізичного стану людей похилого віку в “розумному” будинку.

Ключові слова: МЕМС, гіроскоп-акселерометр, радіочастотний модуль, “розумний” будинок.

Важливість вивчення перехідних процесів у різноманітних сферах рухової діяльності людини не викликає сумнівів. Для їхнього вивчення використовують високотехнологічні пристрої, у складі яких є сучасні датчики, зокрема МЕМС-акселерометри. Сьогодні в одній МЕМС поєднують акселерометри, гіроскопи, магнетометри. Такого типу МЕМС застосовують у сучасних смартфонах, ігрових системах, в автомобільній промисловості, військовій галузі та медицині, пристроях віртуальної реальності, для оптичної стабілізації під час відеозапису[1].

Ми вирішили застосувати згадані сучасні МЕМС як додаткові атрибути “розумного” будинку, а також для аналізування руху людини. У першому випадку – це система контролю руху динамічного робота або людини, що потребує постійного нагляду, а в другому – це фітнес-тренер, оцінювач активності людини впродовж дня або ефективності процесу тренування спортсмена.

Прикладом застосування акселерометрії (рис. 1) в спорті вищих досягнень можуть слугувати експерименти, проведені у стрільбі з лука [2].

Зручно працювати з системою, що передає отримані дані по бездротовому зв'язку в мережу інтернет. Наявність радіочастотних маячків типу зв'язку сервер–клієнт можна використати для визначення координат рухомого об'єкта там, де не працює традиційна система GPS. У такому випадку дані гіроскопа, передані через мережу у вигляді Telegram Bot, можуть інформувати родичів про нехарактерне (горизонтальне) положення людини і необхідність зв'язатись з нею для допомоги.

Можна проаналізувати траєкторію переміщення об'єкта, швидкість переміщення, поверх перебування опікуваної людини (хворого), а також оцінити температурно-кліматичні умови в приміщенні.

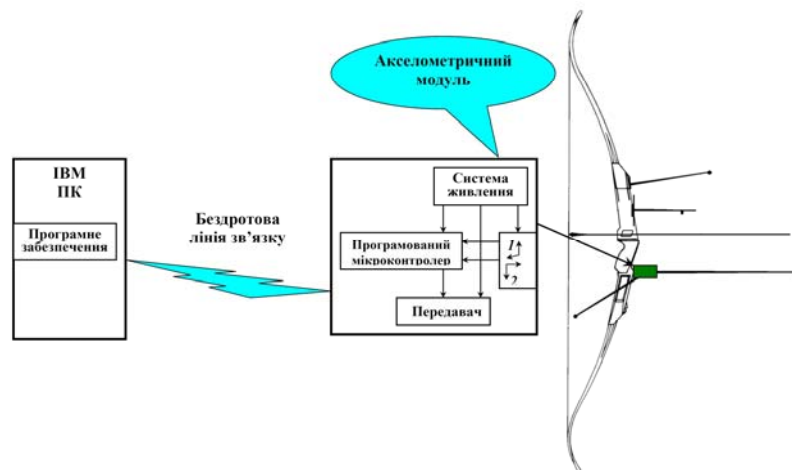


Рис. 1. Блок-схема бездротового комплексу акселерометричних досліджень у стрільбі з лука.

Таку недорогу енергоефективну систему можна створити на основі MEMS GY-521, що працює по інтерфейсу I2C з інтегральною схемою мікроконтролера Arduino Leonardo. Бездротовий зв'язок з сервером на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi виконано за допомогою радіомодулів nRF24L01+.

У роботі використано мікроконтролер фірми Atmel серії Atmega328P. За допомогою інтегральної схеми Arduino Leonardo є змога використовувати інтерфейс I2C для роботи з MEMS пристроєм GY-521. Швидкість передавання даних через інтерфейс I2C задано за замовчуванням 400 КБіт/с з використанням набору бібліотек Arduino.

Завдяки використанню каркаса розробки крос-платформного програмного забезпечення Qt5 можна швидко реалізувати програму візуалізації процесу збирання даних з апаратної частини Arduino Leonardo. Також використання 3D-моделі положення акселерометра наочно демонструє поточне положення MEMS пристрою. Це також дає змогу відтворити деякий процес записування даних у файл. Застосування цих функцій є важливим для виконання аналізу та можливого навчання чи тренування певних частин вправ для спортсмена. Модель 3D будують за допомогою бібліотеки Three.js.

Ми розробили програмне забезпечення для підключення до персонального комп'ютера та мікроконтролера Atmel Atmega328P. За допомогою інтегральної схеми Arduino Leonardo можна приєднатися до серійного порту COM. Швидкість передавання даних вибрана оптимально для роботи з акселерометром типу GY-521 і задана на рівні 38 400 біт/с. Для передавання пакета даних сформовано JSON пакет. Використання технології JSON дає змогу перевірити цілісність пакета даних і його структуру.

Програмна реалізація 3D-моделі складається з декількох частин. Перша частина – це головна програма, що відіграє роль роботи головного вікна в операційній системі. За допомогою інтеграції декларативної мови Qt QML можна використовувати інтерпретатор мови JavaScript. Цей підхід дасть змогу легко і швидко підключити бібліотеку Three.js для побудови 3D-моделей. Друга частина програми керує роботою 3D-сцени і візуалізацією положення датчика GY-521. На рис. 2 відображено червону (темну) платформу як головну плату з текстоліту датчика, зелена (світла) платформа – це відобра-

ження самого MEMS датчика GY-521 і допоміжні осі для відображення відносних кутів нахилу датчика. Ще одна частина програми виконує функцію транспортування даних з першої частини програми у другу.

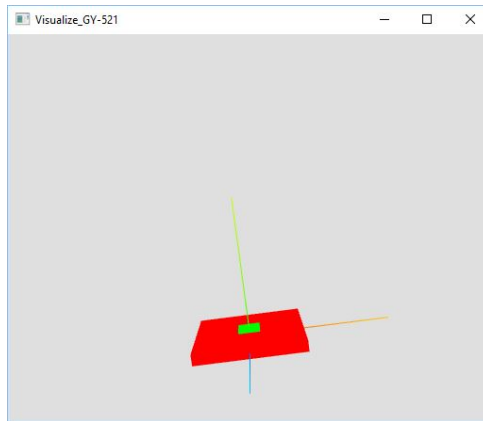


Рис. 2. Головне вікно програми у режимі візуалізації положення GY-521.

Одержані дані акселерометра потрібно опрацьовувати, наприклад, використовувати фільтрування для відсікання високочастотних шумів, що виникають у фізичній основі елементів датчика MEMS. У роботі використовуємо поєднання даних гіроскопа й акселерометра за допомогою комплементарного фільтра для отримання усереднення даних положення інтегральної схеми. Як відомо, один з недоліків роботи з даними гіроскопа – це “дрейфування” даних.

Комплементарний фільтр з урахуванням показів акселерометра і гіроскопа обчислюємо за допомогою формули

$$finalValue_i = \alpha * (finalValue_{i-1} + gyroscopeValue * dt) + (1 - \alpha) * accelerometerValue, \quad (1)$$

де α – визначений коефіцієнт у межах (0...1); dt – змінна часу, упродовж якого виконується одержання даних гіроскопа; $gyroscopeValue$ – одна з трьох змінних показів гіроскопа у просторі; $accelerometerValue$ – одна з трьох змінних показів акселерометра у просторі. Зазвичай, вважають, що коефіцієнт $\alpha = 0,9$.

Ми безпосередньо знімали покази з датчика MEMS пристрою GY-521 у режимі реального часу.

Як показано на рис. 3, відбувались “легкі коливання” впродовж 30 с роботи. Унаслідок роботи комплементарного фільтра виконано відсікання високочастотних коливань акселерометра з поправкою на покази гіроскопа. Покази акселерометра відображені на рис. 3 синьою кривою 1, покази гіроскопа – зеленою кривою 2, а результат фільтрування – оранжева крива 3.

Ця робота містить реалізацію дослідження під час стрільби з лука. Завдяки цьому можна оцінювати роботу системи на основі Arduino Leonardo та системи на основі ZSTAR фірми Freescale Semiconductor.

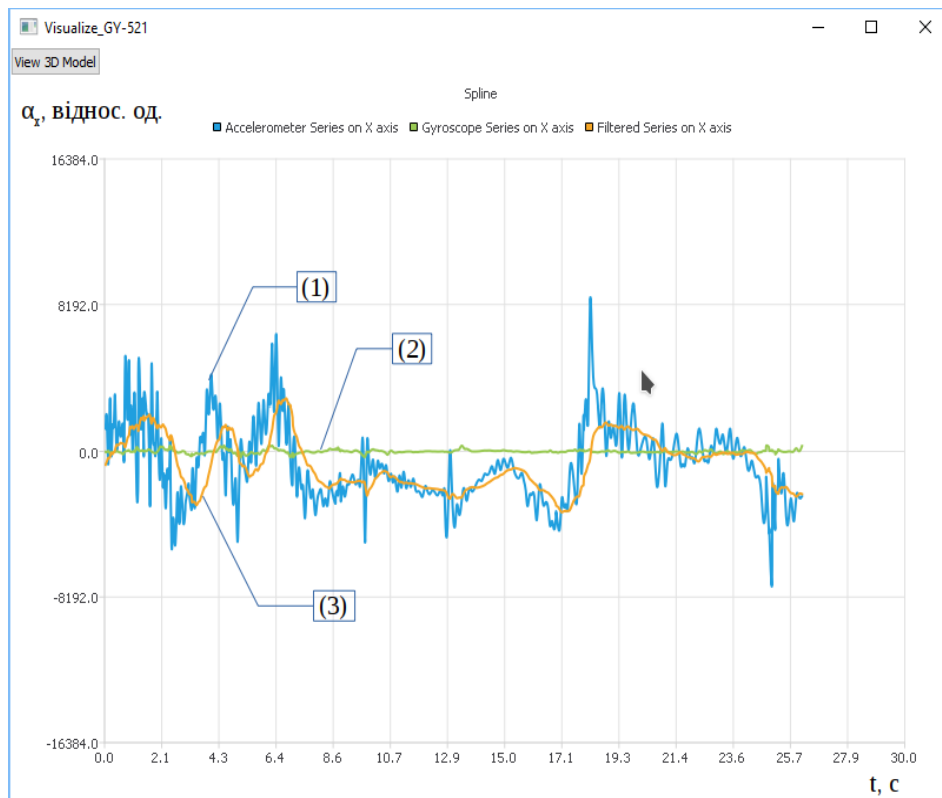


Рис. 3. Інтерфейс програми для відображення графіку залежності кута нахилу площини МЕМС однієї осі від часу. Результат роботи датчика GY-521 у режимі “легких коливань”. (1) — крива даних акселерометра; (2) — крива даних гіроскопа; (3) — крива відфільтрованих даних.

Ми дослідили акселерограму пострілу з лука, яка відображає коливні процеси після відпускання тятиви зі стрілою спортсменом (рис. 4). Фіксується момент відриву стріли від тятиви, який є початком вільного польоту стріли до мішені (зовнішня балістика), та процес загасальних коливань у системі стрілець–зброя. На підставі одержаних результатів та їхнього аналізу спортсмен може виконати корекцію техніки пострілу та прецизійного налаштування зброї.

Для аналізу рухів ми запропонували застосовувати бездротовий ZigBee™ налагоджувальний модуль ZSTAR з USB інтерфейсом компанії Freescale Semiconductor, який використовують для візуалізації характеристик і налагодження пристрою трьохосового МЕМС-акселерометра MMA7260Q [3, 4]. Цей пристрій є емнісним інерційним датчиком прискорення і має високу точність вимірювань та ліпшими характеристиками порівняно з механічними або п’єзоелектричними аналогами. Результатом роботи можна вважати зібраний демонстраційний макет (рис. 5) та програмне забезпечення для персонального комп’ютера.

Реалізація подвійного проекту дає змогу вивчити як питання динаміки фізичного стану людей похилого віку зі спеціальними потребами, що перебувають у “розумному” будинку, так і якості виконання тренувального процесу спортсменів під час роботи системи стрілець-зброя.

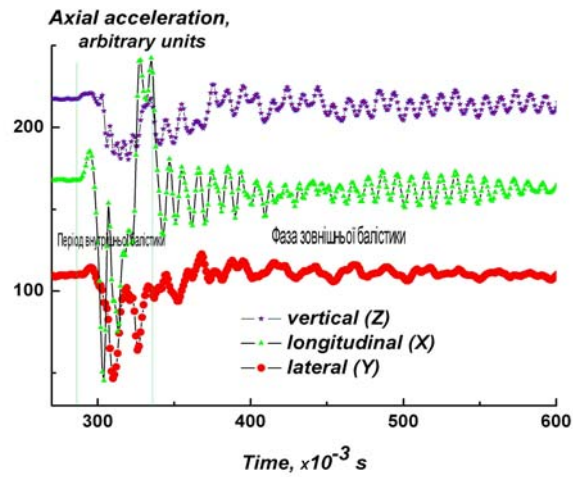


Рис. 4. Акселерограма пострілу з лука.

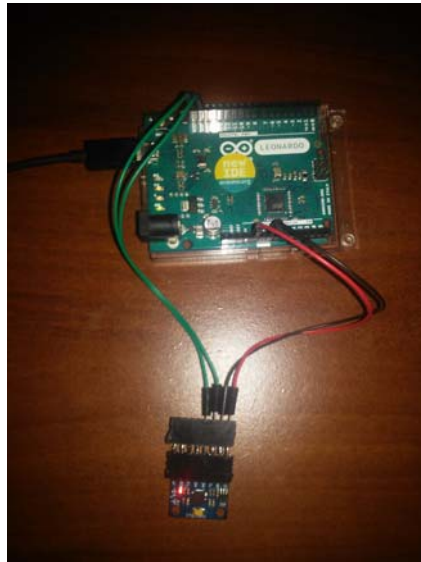


Рис. 5. Демонстраційний макет для дослідження динамічних процесів Arduino Leonardo із датчиком GY-521 .

Отже, отримані результати дають змогу використовувати прості та дешеві елементи типу Arduino Leonardo з датчиком GY-521 для дослідження різноманітних фізичних, динамічних процесів руху певних об'єктів. За допомогою цих елементів можна використовувати набір датчиків для забезпечення складнішого динамічного процесу. Із застосуванням каркаса розробки крос-платформних аплікацій Qt можна швидко використати набір інструментів для з'єднання з серійними пристроями, візуалізацію моделі у 3D-просторі, а також будувати динамічні графіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Движение без ограничений: первый в мире 9-осевой датчик MPU-9255 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.tterraelectronica.ru/news_utr.php?ID=170.
2. *Vynohradskiy B. A.* Improvement of instrumental methods of control of oscillation processes of the “archer-bow” biomechanical system / B. A. Vynohradskiy, A. P. Vlasov // *Rozprawy naukowe AWF we Wrocławiu.* – 2008. – Vol. 26. – P. 30–34.
3. *Маргелов А.* Инерциальные МЭМС-датчики / А. Маргелов // *Новости электроники.* – 2007. – № 5. – С. 16–20.
4. *Lajöner P.* Using the wireless sensing triple axis reference design / P. Lajöner, R. Kozub // *Freescale Semiconductor.* – 2006. – Rev 1, 04/2006. – AN3152.
5. Kalman filter vs Complementary filter [Electronic resource]. – Access mode : <http://robottini.altervista.org/kalman-filter-vs-complementary-filter>.

*Стаття: надійшла до редакції 29.03.2017,
доопрацьована 04.04.2017,
прийнята до друку 06.04.2017.*

ANALYSIS OF THE OBJECT MOVEMENT BY MEMS DEVICES

L. Monastyrskii¹, A. Vlasov², O. Petryshyn¹

¹*Ivan Franko National University of Lviv,
50 Drahomanov St., UA–79005 Lviv, Ukraine
oleg.lpml@gmail.com*

²*Lviv State University of Physical Culture,
11 Kostushko str., UA–79007 Lviv, Ukraine*

Established inexpensive energy efficient control system dynamic processes based on MEMS gyroscope-accelerometer GY-521, running at I2C interface with microcontroller Arduino Leonardo and the use of radio frequency modules nRF24L01+. It is shown that such systems can be applied to improve the training process of sportsmen and monitoring the physical condition of the elderly in the "smart" house.

Key words: MEMS, gyroscope, accelerometer, RF module, a "smart" house.