

HYBRID SEISMIC AND ULTRASONIC SYSTEM FOR AUTONOMOUS DETECTION AND CLASSIFICATION OF MOVING OBJECTS

Marina Muntian

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

Ukraine, 39600, Kremenchuk, Universytetska St., 20

E-mail: muntianmarinaf@gmail.com

Annotation: In this paper, a hybrid autonomous sensing system for the detection and classification of moving objects is presented. The proposed system is based on the integration of a seismic sensor using a geophone and an ultrasonic ranging module operating at 40 kHz, implemented on an STM32F103 microcontroller platform. The seismic channel is employed for early detection of ground vibrations caused by human movement, animals, or vehicles, while the ultrasonic channel is used to confirm the presence of an object in the monitored area and to estimate the distance to the target. The combination of heterogeneous sensors enables sensor fusion, which significantly reduces false alarms caused by environmental noise such as wind, rain, or ground disturbances. The structure of the analog front-end for the geophone signal conditioning, the principle of ultrasonic echo-based confirmation, and the overall system architecture are described. The proposed hybrid approach improves the reliability and robustness of autonomous field-deployed detection systems and can be applied in monitoring, security, and environmental observation applications.

Key words: hybrid sensing system, seismic sensor, geophone, ultrasonic sensor, STM32 microcontroller, sensor fusion, autonomous ground sensor, motion detection

ГІБРИДНА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ СЕЙСМІЧНОГО ТА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКІВ

Марина Мунтян

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Україна, 39600, м. Кременчук, вул. Університетська, 20

E-mail: muntianmarinaf@gmail.com

Анотація: У статті розглянуто гібридну багатосенсорну систему виявлення та класифікації рухомих об'єктів, побудовану на основі сейсмічного датчика (геофона) та ультразвукового каналу підтвердження. Запропонована система призначена для автономної роботи в польових умовах і базується на використанні мікроконтролера STM32 для збору, обробки та аналізу сигналів. Сейсмічний канал використовується для раннього виявлення коливань ґрунту, зумовлених рухом людини, тварин або транспорту, тоді як ультразвуковий канал забезпечує підтвердження наявності об'єкта в безпосередній близькості та оцінку відстані до нього. У роботі проаналізовано принципи функціонування гібридної системи, наведено алгоритм злиття даних сенсорів та виконано порівняння запропонованого підходу з традиційними одноканальними системами виявлення. Показано, що використання сенсорної ф'южн-архітектури дозволяє зменшити кількість хибних спрацювань і підвищити надійність ідентифікації подій у складних зовнішніх умовах.

Ключові слова: гібридна сенсорна система, сейсмодатчик, геофон, ультразвук, STM32, багатосенсорна ф'южн, автономні датчики, виявлення руху.

З розвитком автономних систем моніторингу та зростанням потреби у безперервному спостереженні за навколишнім середовищем зростає інтерес до безлюдних сенсорних систем, здатних працювати в польових умовах без постійного обслуговування. Такі системи знаходять застосування у сфері охорони периметрів, екологічного моніторингу, сільського господарства, “розумних” інфраструктур, а також у задачах раннього виявлення рухомих об'єктів.

Традиційні системи виявлення зазвичай базуються на одному типі датчика — сейсмічному, акустичному, інфрачервоному або радіолокаційному. Однак використання лише одного сенсорного каналу часто призводить до значної кількості хибних спрацювань, зумовлених дією шумів навколишнього середовища, погодними умовами або особливостями рельєфу. У зв'язку з цим актуальним є застосування гібридних багатосенсорних систем, у яких поєднуються різні фізичні принципи вимірювання.

Метою даної роботи є дослідження та обґрунтування гібридного підходу до виявлення та класифікації рухомих об'єктів шляхом поєднання сейсмічного датчика на базі геофона та ультразвукового каналу підтвердження з використанням мікроконтролера STM32.

Сейсмічний канал побудовано на основі геофона, який перетворює механічні коливання ґрунту на електричний сигнал. Геофон є особливо ефективним для виявлення руху на значній відстані, оскільки коливання від кроків людини або руху транспорту поширюються через ґрунт на десятки метрів.

Отриманий сигнал має малу амплітуду та потребує підсилення й фільтрації. Аналоговий тракт включає підсилювач, смуговий фільтр у діапазоні приблизно 5–120 Гц та зсув рівня для коректного введення сигналу в аналогово-цифровий перетворювач мікроконтролера STM32. Подальша цифрова обробка передбачає оцінку енергії сигналу, виявлення піків і аналіз ритмічності коливань.

Ультразвуковий канал працює за принципом ехолокації. Мікроконтролер формує пачку коливань частотою 40 кГц, які випромінюються ультразвуковим перетворювачем. Відбитий від об'єкта сигнал приймається другим перетворювачем, після чого визначається час затримки між передачею та прийомом імпульсу.

На відміну від сейсмічного каналу, ультразвуковий датчик ефективний лише на малих дистанціях, однак він дозволяє точно оцінити відстань до об'єкта та підтвердити його фізичну присутність у зоні контролю.

Робота системи базується на поетапному алгоритмі:

1. Сейсмічний канал перебуває в режимі постійного моніторингу з мінімальним енергоспоживанням.
2. У разі перевищення порогового рівня енергії сигналу система переходить у активний режим аналізу.
3. За наявності характерних ознак руху (ритмічність, стабільні піки) активується ультразвуковий канал.
4. Ультразвуковий датчик підтверджує або спростовує наявність об'єкта поблизу та визначає відстань до нього.
5. На основі поєднання ознак обох каналів система класифікує подію (людина, транспорт, шум середовища).

Такий підхід дозволяє значно зменшити кількість хибних спрацювань, спричинених вітром, дощем або випадковими вібраціями.

У роботі проведено порівняння запропонованої гібридної системи з одноканальними системами виявлення руху з метою оцінювання її ефективності, надійності та стійкості до впливу завад навколишнього середовища (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння сенсорних підходів до виявлення руху

Тип системи	Переваги	Недоліки
Сейсмічна	Велика дальність виявлення, незалежність від освітлення	Висока чутливість до шумів ґрунту
Ультразвукова	Точне вимірювання відстані, простота реалізації	Мала дальність, залежність від погодних умов
Гібридна (сейсмо + ультразвук)	Висока надійність, зменшення хибних спрацювань, класифікація подій	Підвищена складність апаратної та програмної реалізації

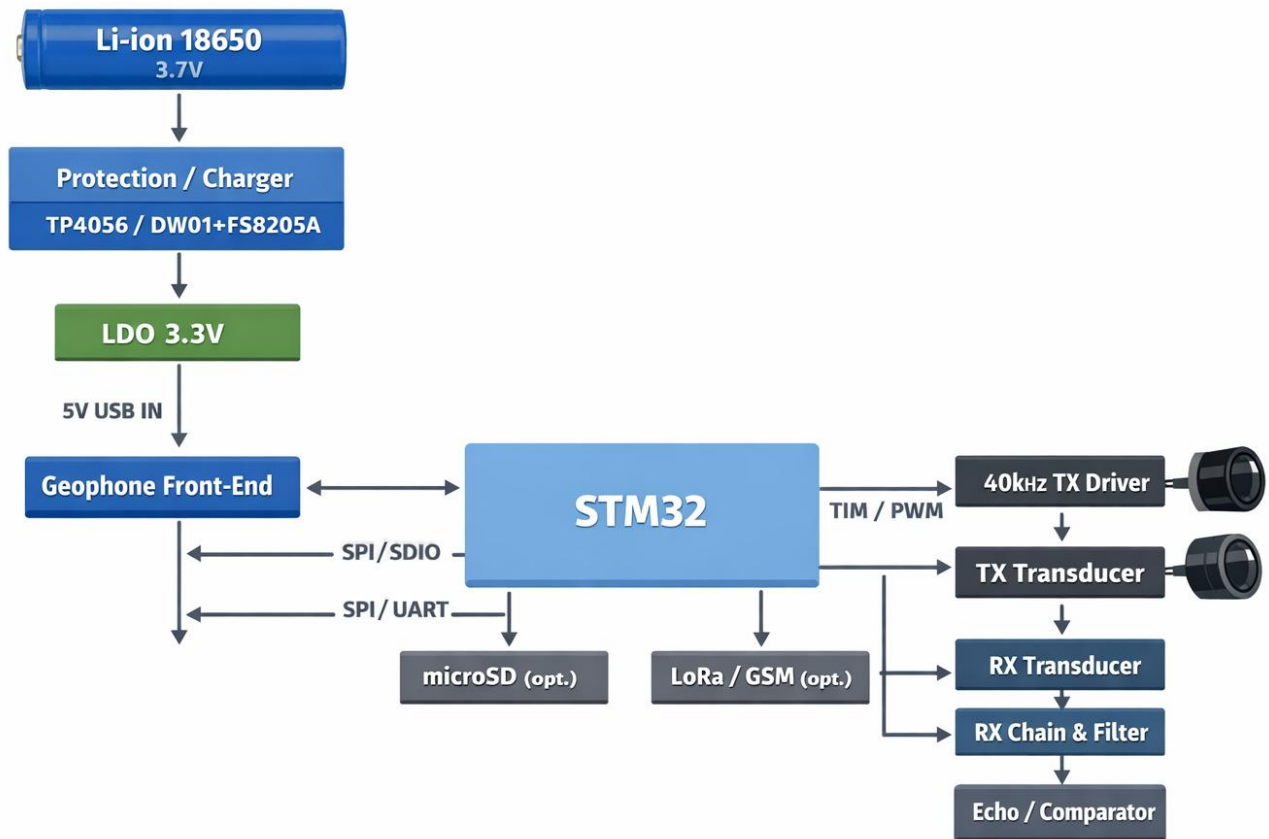


Рисунок 1 – Структурна схема гібридного сейсмічно-ультразвукового датчика на базі мікроконтролера STM32

На рисунку представлено структурну схему гібридної автономної системи виявлення рухомих об'єктів, побудованої на основі мікроконтролера STM32. Живлення пристрою здійснюється від літій-іонного акумулятора типу 18650 з номінальною напругою 3,7 В. Заряджання та захист акумулятора забезпечуються модулем на базі мікросхем TP4056 та DW01+FS8205A, після чого напруга стабілізується лінійним стабілізатором до рівня 3,3 В для живлення цифрових і аналогових вузлів.

Сейсмічний канал реалізовано за допомогою геофона та аналогового вхідного тракту (Geophone Front-End), який виконує підсилення та фільтрацію сигналу перед передаванням його до аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера. Центральний мікроконтролер STM32 здійснює обробку сейсмічних даних, керування периферійними модулями та прийняття рішень щодо активації ультразвукового каналу.

Ультразвуковий канал складається з генератора сигналу з частотою 40 кГц, передавального п'єзоелектричного перетворювача, приймального перетворювача та приймального тракту з фільтрацією і компаратором, що формує сигнал еховідгуку. Вимірювання часової затримки ехосигналу виконується за допомогою апаратних таймерів STM32. Система передбачає можливість підключення зовнішніх модулів зберігання даних (microSD) та бездротового зв'язку (LoRa/GSM) через інтерфейси SPI та UART.

ВИСНОВКИ. У роботі розглянуто гібридну систему виявлення рухомих об'єктів, яка поєднує сейсмічний та ультразвуковий канали на базі мікроконтролера STM32. Показано, що використання геофона забезпечує ефективне раннє виявлення руху на значних дистанціях, тоді як ультразвуковий датчик дозволяє підтвердити наявність об'єкта поблизу та оцінити відстань до нього. Застосування багатосенсорного підходу та алгоритмів злиття даних підвищує достовірність виявлення та зменшує вплив шумів навколишнього середовища. Запропонована система може бути використана як основа для автономних польових датчиків у задачах моніторингу та безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12), 2292–2330.
2. Sabatier, J. M. (2002). Past, present, and future of seismic intrusion detection systems. *Proceedings of SPIE*, 4743, 34–45.
3. Kim, S., Pakzad, S., Culler, D., et al. (2007). Health monitoring of civil infrastructures using wireless sensor networks. *Information Processing in Sensor Networks*.
4. STM32 Microcontroller Reference Manuals. STMicroelectronics.
5. Mustafa, S. K., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Lyashenko, V. (2022). HMI Development Automation with GUI Elements for Object-Oriented Programming Languages Implementation. *SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(1), 139-145.
6. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., & Ahmad, M. A. (2021). GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive Cyber-Design CPPS Development. *Advances in Dynamical Systems and Applications*, 16(2), 441-455.
7. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.
8. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 9(2), 110-125.
9. Matarneh, R., Maksymova, S., Deineko, Z., & Lyashenko, V. (2017). Building robot voice control training methodology using artificial neural net. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(10), 523-532.
10. Abu-Jassar A. Building a Route for a Mobile Robot Based on the BRRT and A*(H-BRRT) Algorithms for the Effective Development of Technological Innovations / Amer Abu-Jassar, Hassan Al-Sukhni, Yasser Al-Sharo, S. Maksymova, V. Yevsieiev, V. Lyashenko // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. – 2024. – V. 72(11). – P. 294-306
11. Lyashenko, V., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2023). Automated Monitoring and Visualization System in Production. *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, 5(6), 9-18.