



10. T. M. Tukade, R. Banakar, "Data transfer protocols in IoT—An overview," *Int. J. Pure Appl. Math*, vol. 118, no. 16, pp. 121-138, 2018.
11. M. D. Mudaliar, N. Sivakumar, "IoT based real time energy monitoring system using Raspberry Pi," *Internet of Things*, vol. 12, pp. 100292, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100292>
12. K. Chooruang, K. Meekul, "Design of an IoT energy monitoring system," in *2018 16th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)*, IEEE, 2018. <https://doi.org/10.1109/ICTKE.2018.8612412>
13. S. Gangadhar, "The real time environmental time series data analysis using Influx DB," *International Journal of Advanced Scientific Innovation*, vol. 1, no. 1, 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4641703>
14. M. Nasar, M. A. Kausar, "Suitability of influxdb database for iot applications," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 10, pp. 1850-1857, 2019.
15. S. N. Zehra Naqvi, S. Yfantidou, E. Zimányi, "Time series databases and influxdb," *Studienarbeit, Université Libre de Bruxelles*, vol. 12, 2017.
16. M. Cicioğlu, A. Calhan, "Internet of Things-based firefighters for disaster case management," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 612-619, 2020. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3013333>
17. A. Gavlas, J. Zwierzyna, J. Koziorek, "Possibilities of transfer process data from PLC to Cloud platforms based on IoT," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 6, pp. 156-161, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.146>

Отримана в редакції 01.11.2023. Прийнята до друку 04.12.2023. Received 01 November 2023. Approved 12 December 2023. Available in Internet 03 January 2024

УДК 004.021

## АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕРОРИСТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Старченко В'ячеслав Володимирович

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8593-0431>

E-mail: [viacheslav.starchenko@chmnu.edu.ua](mailto:viacheslav.starchenko@chmnu.edu.ua)

Copyright © 2021 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v15i4.2718>

**Анотація.** У сучасному світі кількість смертей та інцидентів у результаті тероризму вже перевищило число жертв будь-якої іншої форми та продовжує збільшуватися. У зв'язку з можливою легалізацією в Україні стрілецької зброї виникає нагальна необхідність у автоматизованих системах моніторингу терористичної активності. Головна задача таких систем – за допомогою акустичних датчиків оперативно виявляти факти пострілів та вибухів, визначати їх координати та повідомляти служби забезпечення безпеки населення. Розроблений апаратно-програмний комплекс має зіркову архітектуру, складається з декількох сенсорних кластерів та головного серверу. Кожен сенсорний кластер включає до себе три звукових сенсори розташованих на місцевості, контролер керування на базі мікропроцесору Arduino та кластерний сервер. До складу кожного сенсору входить мікрофон із низьким рівнем шуму, підсилювач та лінійний перетворювач цифрового сигналу. Головною задачею кластерного сервера є класифікація та локалізація у просторі джерела гучного імпульсного звуку. У випадку виявлення факту пострілу або вибуху, інформація про нього оперативно передається до відповідних служб забезпечення безпеки населення. Локалізація у просторі джерела гучного імпульсного звуку виконується методом геометричної триангуляції за результатами аналізу даних від акустичних сенсорів. У результаті попередніх випробувань прототипу системи була досягнута точність локалізації місця пострілу біля 10 м при рознесенні сенсорів на відкритій місцевості більш ніж на 800 м.

**Abstract.** Recently, the number of deaths and incidents resulting from terrorism has already exceeded the number of victims of any other form and continues to increase. In connection with the possible legalization of small arms in Ukraine, there is an urgent need for automated systems for monitoring terrorist activity. The main task of such systems is to quickly detect the facts of shots and explosions with the help of acoustic sensors, determine their coordinates and notify public security services. The developed hardware and software complex has a star architecture, consisting of several sensor clusters and the main server. Each sensor cluster includes three sound sensors located on the ground, a control controller



based on an Arduino microprocessor, and a cluster server. Each sensor includes a low-noise microphone, an amplifier, and a linear digital signal converter. The main task of the cluster server is the classification and spatial localization of the source of loud pulsed sound. In the event that a shot or an explosion is detected, information about it is promptly transmitted to the relevant public security services. Spatial localization of the source of loud pulsed sound is performed by the method of geometric triangulation based on the results of data analysis from acoustic sensors. As a result of preliminary tests of the prototype of the system, the accuracy of the location of the shot was achieved at a distance of more than 800 m from the sensors in an open area of about 10 m.

**Ключові слова:** акустичний сенсор, постріл, вибух, триангуляція, фільтрація даних, амплітуда звукового сигналу.

**Keywords:** acoustic sensor, shot, explosion, triangulation, data filtering, sound signal amplitude.

## Вступ

Останнім часом в Україні все активніше обговорюються питання легалізації стрілецької зброї. Світовий досвід показує, що зі зростанням кількості стрілецької зброї закономірно збільшується і кількість трагічних інцидентів з нею. Ось декілька прикладів:

– 14 січня 2023 р. у центрі Лондона, неподалік вокзалу Юстон, сталася стрілянина. Поранено трьох жінок у віці 54, 48 та 41 років, та семирічної дівчинки. Як повідомляє лондонська поліція, вогонь відкрили з автомобіля, що рухався поблизу церкви на прилеглій до вокзалу вулиці, де проходили похорони [1].

– 24 січня 2023 р. в американському штаті Каліфорнія сталося друге масове вбивство за три дні. Семеро людей убито, один – у критичному стані, вбивця здався поліції. Новий розстріл стався у прибережному місті Хаф-Мун-Бей за півсотні кілометрів на південь від Сан-Франциско [2].

Провідним міжнародним аналітичним центром Інститутом економіки та світу (IEP) вже дев'ятий рік складається Щорічний Глобальний індекс тероризму[3]. Він є найповнішим ресурсом про глобальні тенденції в галузі тероризму. У ньому зазначено, що 2018 році кількість смертей та інцидентів внаслідок політичного тероризму збільшилася на 52 % і вперше з 2007 року перевищила кількість жертв будь-якої іншої форми. При цьому третій рік поспіль спостерігається зростання вкрай правого тероризму в Західній Європі, Північній Америці та Океанії [4].

Ще одним неприємним фактом є те, що у 80-95 відсотках випадків потенційні свідки до відповідних служб про постріли не повідомляють. Цивільні люди не роблять цього із різних причин: сподіваються, що це зроблять інші, не впевнені, що чули саме постріл, а хтось просто не полюбить поліцію і не довіряє їй.

Тому все актуальнішою стає необхідність автоматизації процесу моніторингу терористичної активності. Особливо у великих містах.

## Аналітичний огляд літератури

Американський стартап ShotSpotter [5], створений у 1996 році, створив апаратуру, яка, встановлена на вулицях, фіксує постріли і негайно повідомляє про них поліцейські патрулі. Його мікрофони розташовані багатьох містах Америки. Мікрофони встановлюються на будь-якій споруді. Коли лунає гучний звук, комп'ютерна програма визначає, постріл це чи щось інше. Враховується те скільки сенсорів зафіксували постріл, і чи була звукова хвиля спрямованою, оскільки звук пострілу сильніше поширюється у бік, куди він був зроблений.

По всій Америці дані, отримані за допомогою цієї системи, використовуються в судах як доказ як звинуваченням, так і захистом.

Задоволені не всі. Критики стверджують, що прилади недосконалі, завалюють правоохоронців хибними викликами і завдають неприємностей випадковим перехожим. Крім того мікрофони надто дорогі, щоб повністю покрити ними усі міста, звук пострілу легко сплутати із вибухом петарди чи автомобільним вихлопом.

В принципі, надійність системи ShotSpotter сумнівів не викликає. Компанія заявляє, що її апаратура вірна у 97 % випадків, і поліцейські, з'явившись за сигналом, можуть бути впевнені, що стрілянина справді мала місце. Але це твердження важко перевірити з тієї інформації, яку фірма надає громадськості. Тому остаточне рішення залишається за людьми.

Локалізація такої системи в Україні має очевидні складності [6]. По перше це ціна обладнання та послуги. Вона є дуже високою для багатьох українських міст та громад. По друге – організація ефективної інформаційної взаємодії із відповідними службами. Адже система була розроблена для застосування у іншому законодавчому просторі. По третє – сам процес локалізації системи буде дуже затратним. Тому відчинянні розробки у цій галузі скоро будуть дуже необхідні.

## Мета і завдання дослідження

**Об'єкт дослідження:** методи підвищення ефективності спостереження та оперативності інформування спеціальних служб про випадки терористичної активності на контрольованій території.

**Предмет дослідження:** апаратно-програмний комплекс для моніторингу терористичної активності на відкритій території з використанням акустичних сенсорів.

**Мета роботи:** розробити прототип апаратно-програмного комплексу для моніторингу терористичної активності на відкритій території з використанням акустичних сенсорів.

## Завдання:

– виконати аналіз наявних методів контролю місцевості та попередження спеціальних служб про факти пострілів та детонації вибухівки;



- дослідити особливості роботи наявних моніторингових систем;
- здійснити вибір оптимальних апаратних компонентів для реалізації системи з наявної елементної бази;
- розробити функціональну схему системи;
- розробити програмне забезпечення для керування системою.

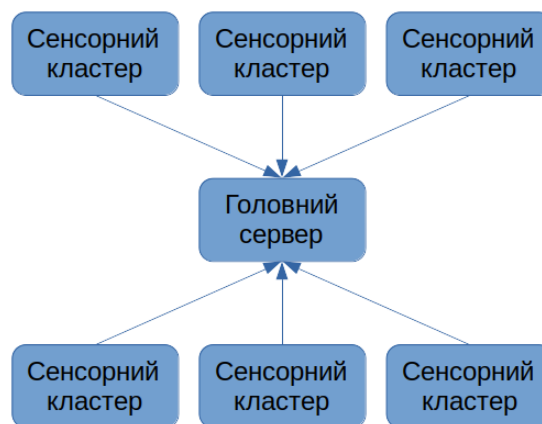
*Методи дослідження:* для локалізації місць пострілів та детонації вибухівки використовуються методи цифрової обробки акустичних сигналів та геометричної триангуляції.

*Практичне значення:* На основі розробленого прототипу апаратно-програмного комплексу для моніторингу терористичної активності на відкритій території з використанням акустичних сенсорів може бути побудований конкурентоспроможний промисловий зразок.

#### Результати досліджень

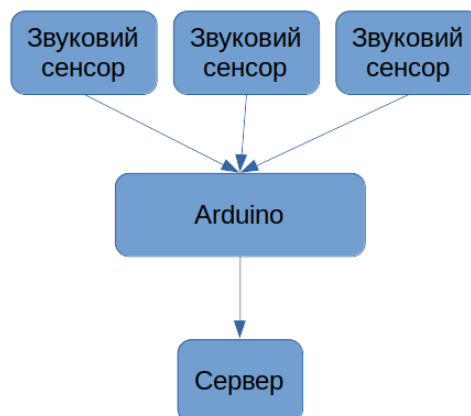
##### Архітектура системи

Система моніторингу гучних акустичних сигналів має зіркову архітектуру. Вона може бути представлена деревним графом, листям якого є сенсорні кластери. Коренем – головний сервер системи, призначений для збору, обробки та накопичення інформації, що надходить до нього від сенсорних кластерів. До функцій сервера також належить своєчасне формування повідомлення про виникненні гучних акустичних сигналів у зоні моніторингу та передачу його відповідним службам. Загальна схема архітектури розробленого апаратно-програмного комплексу наведена на рис. 1.



**Рис. 1 – Архітектура апаратно-програмного комплексу**  
**Fig. 1 – Architecture of the hardware and software complex**

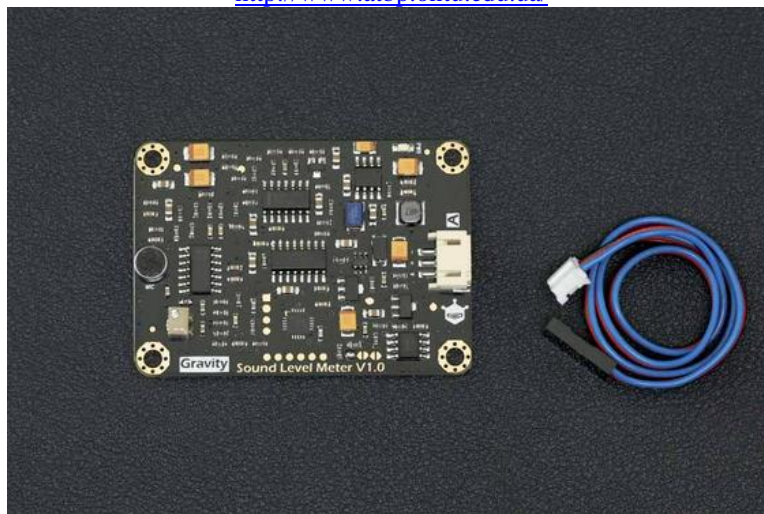
Сенсорний кластер призначений для реєстрації часу та локалізації у просторі гучний імпульсних звуків. Він складається з трьох звукових сенсорів, що керуються за допомогою мікроконтролеру Arduino та локального серверу. Структура сенсорного кластеру наведена на рис. 2.



**Рис. 2 – Структура сенсорного кластеру**  
**Fig. 2 – Structure of the sensory cluster**

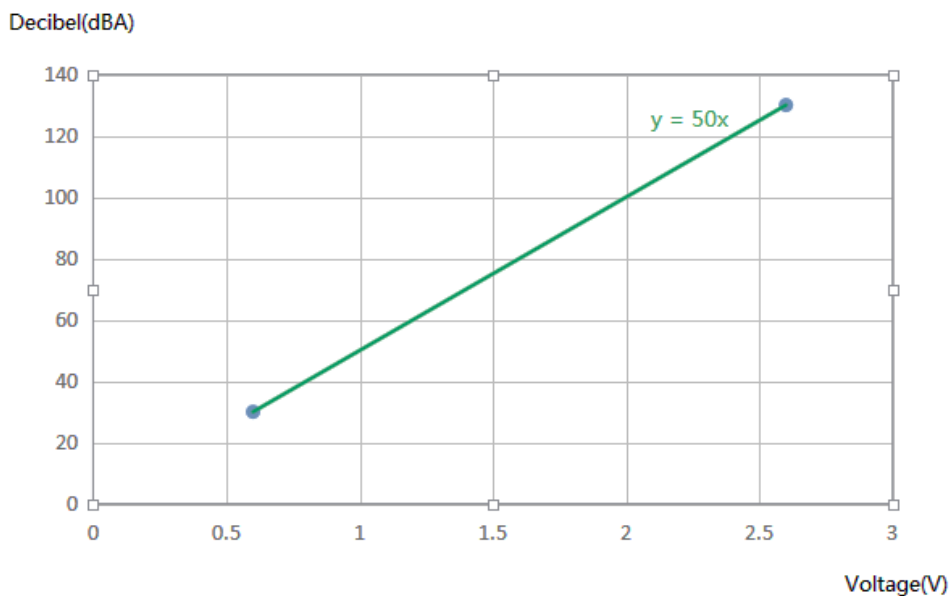
##### Апаратна складова

Первинна реєстрація параметрів звукового фону навколишнього середовища виконується аналоговим сенсором SEN0232. Його зовнішній вигляд представлено на рис. 3.



**Рис. 3 – Аналоговий звуковий сенсор SEN0232**  
**Fig. 3 – Analog sound sensor SEN0232**

До складу цього сенсору входить мікрофон із низьким рівнем шуму, підсилювач та лінійний перетворювач цифрового сигналу. Живлення сенсору відбувається напругою 3,3–5,0 В. Вихідна напруга лінійно залежить від рівня гучності звуку в децибелах і змінюється у діапазоні 0,6–2,6 В. Діаграма залежності рівня зареєстрованого звукового сигналу від вихідної напруги сенсора SEN0232 наведена на рис. 4.



**Рис. 4 – Діаграма залежності рівня зареєстрованого звукового сигналу від вихідної напруги сенсора SEN0232**

**Fig. 4 – Dependence diagram of the registered sound signal level on the sensor SEN0232 output voltage**

Сенсор попередньо відкалібрований і працює за принципом plug-and-play, без додаткового налагодження. Специфікація звукового сенсору SEN0232 є такою:

- Діапазон вимірювання: 30–130 дБА;
- Похибка вимірювання:  $\pm 1,5$  дБ;
- Діапазон чутливості: 31,5–8,5 кГц;
- Часовий період вимірювання: 125 мс;
- Вхідна напруга: 3,3–5,0 В;
- Вхідний струм: 22 мА при 3,3 В, 14 мА при 5,0 В;
- Вихідна напруга: 0,6–2,6 В;
- Розмір модуля: 60 мм  $\times$  43 мм.

Схематичне розташування компонентів сенсору SEN0232 наведено на рис. 5.

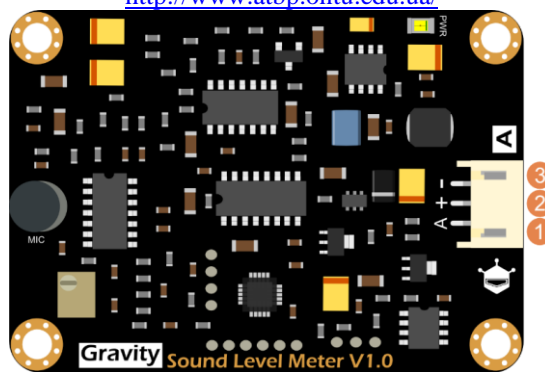


Рис. 5 – Модуль звукового сенсору SEN0232

Fig. 5 – Sound sensor module SEN0232

Сенсор SEN0232 з'єднаний з модулем мікроконтролеру Arduino за допомогою триконтактного провідника.

Специфікація контактів звукового сенсору SEN0232 є наступною:

1 – контакт аналогового сигналу (0,6–2,6 В).

2 – контакт живлення (3,3–5,0 В).

3 – контакт заземлення (0 В).

Зареєстровані параметри звукового фону від кожного сенсора передаються до мікроконтролеру Arduino для первинної обробки [7]. Для під'єднання сенсорів використовуються аналогові контакти мікроконтролеру. Максимальна кількість сенсорів, які можуть бути під'єднані до мікроконтролеру Arduino дорівнює шести, але для сталої роботи системи цілком достатньо трьох [8]. Діаграма з'єднання компонентів сенсорного кластеру наведена на рис. 6.

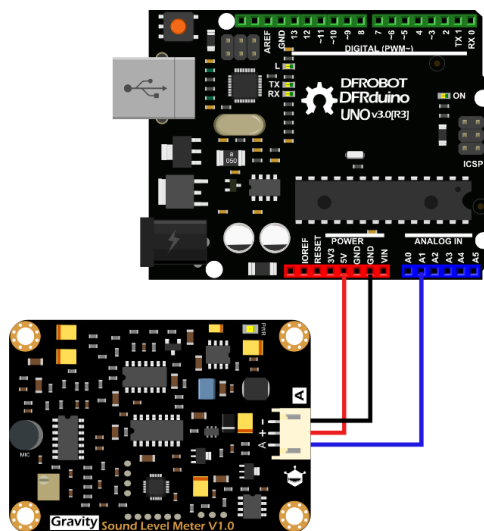


Рис. 6 – Діаграма з'єднання компонентів сенсорного кластеру

Fig. 6 – Sensor cluster component connection diagram

Загальний вигляд сенсорного кластеру у тестовій конфігурації наведено на рис. 7.

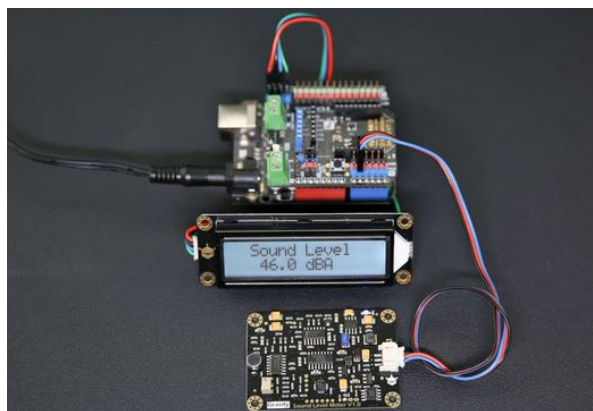


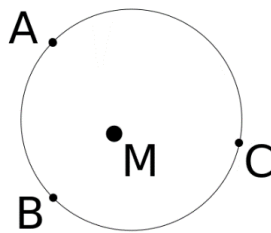
Рис. 7 – Загальний вигляд сенсорного кластеру у тестовій конфігурації

Fig. 7 – General view of the sensor cluster in the test configuration



### ***Розгортання системи на місцевості***

Розташування сенсорів на місцевості краще виконувати за принципом триангуляції Делоне [9]. За цим принципом у колі, що проведено через точки розташування сенсорів не повинно бути інших сенсорів. Це дозволить зекономити на кількості сенсорів та покрити ними більшу площину. Приклад такого розташування наведено на рис. 8.



**Рис. 8 – Приклад відносного розташування сенсорів А, В і С**  
**Fig. 8 – Sensors A, B and C relative location example**

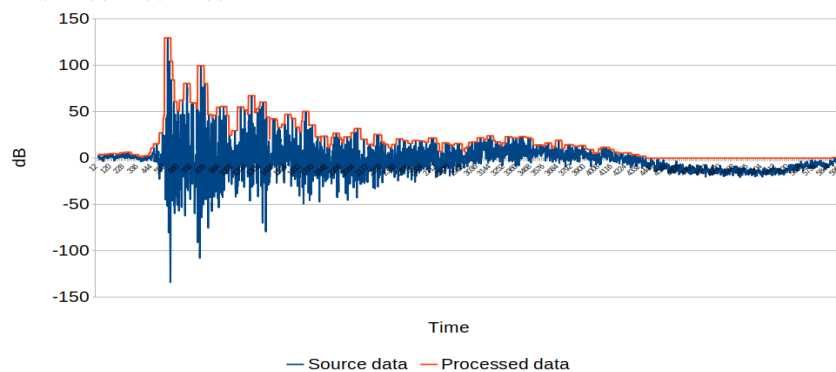
Крім того, при такому розташування сенсорів точність локалізації місця пострілу М сенсорами, розташованими на позиціях А, В і С буде найкращою.

Під час реєстрації гучних імпульсних звуків їх оцифровані параметри передаються за СОМ-інтерфейсом до кластерного сервера.

### ***Первинна обробка акустичних даних***

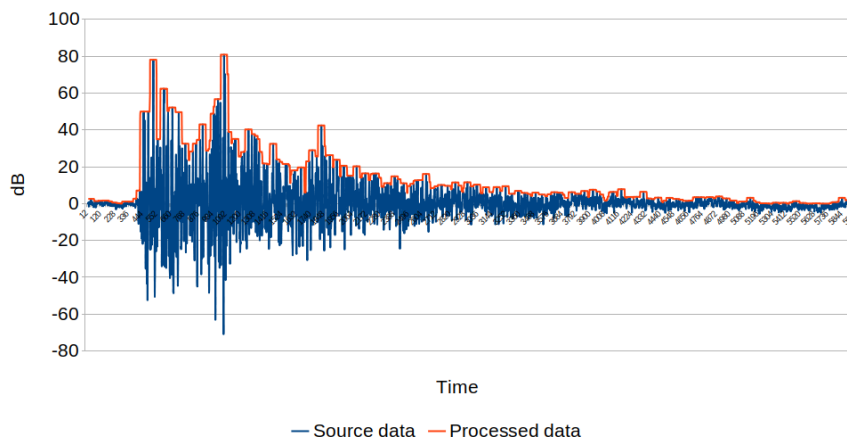
Головним призначенням кластерного сервера є класифікація та локалізація у просторі джерела гучного імпульсного звуку.

На рис. 9 та рис. 10 наведено результат реєстрації звукової хвилі від одного й того ж пострілу на дистанціях 100 м та 500 м від місця події відповідно.



**Рис. 9 – Результат реєстрації та первинної обробки параметрів звукової хвилі на відстані 100 м від місця пострілу**  
**Fig. 9 – The result of registration and initial processing of sound wave parameters at a distance of 100 m from the place of the shot**

Синім кольором показано рівень гучності звуку у децибелах, зареєстрований сенсором. Червоним кольором показана амплітуда звукового сигналу, яка отримана у результаті первинної обробки даних.



**Рис. 10 – Результат реєстрації та первинної обробки параметрів звукової хвилі на відстані 500 м від місця пострілу**  
**Fig. 10 – The result of registration and initial processing of sound wave parameters at a distance of 500 m from the place of the shot**



Помітна значна деградація профілю хвильового фронту у результаті дифракції на елементах місцевості та його роздвоєння у результаті відбиття від вертикальної перепони.

Результатом первинної обробки даних є приблизна відстань місця пострілу від місця реєстрації сенсором звукової хвилі від нього.

Точність обрахунку відстані до місця пострілу дуже сильно залежить від погодних умов та особливостей місцевості. Від температури залежить швидкість розповсюдження звукових коливань у повітрі. Частотний діапазон звукових хвиль, що породжуються пострілом є дуже широким. Це призводить до природної їх дисперсії, рівень якої залежить від відстані. Окрім того, особливості рельєфу поверхні визначають можливі відбиття та розсіювання звукових хвиль.

#### Локалізація місця пострілу

Локалізація місця пострілу виконується методом геометричної триангуляції [9].

На рис. 11 наведена схема геометричної триангуляції для визначення координат точки пострілу М з використанням визначених відстаней від неї до місць розташування сенсорів (точки А, В і С).

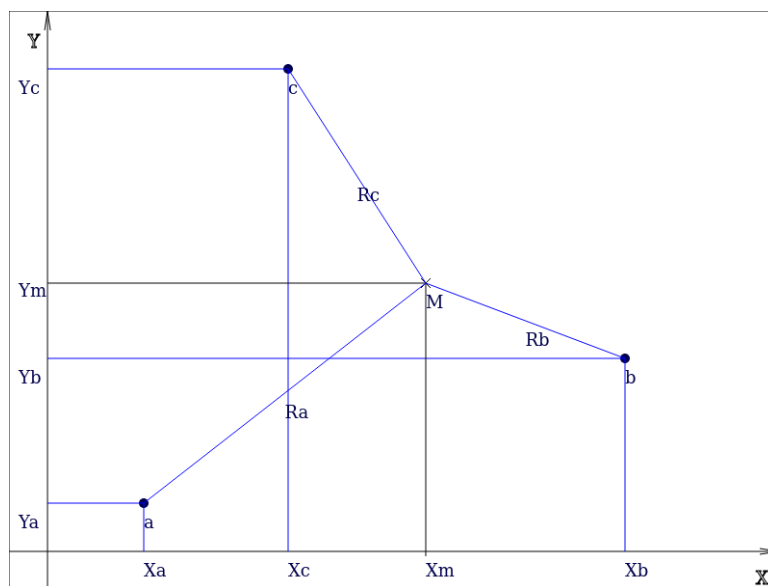


Рис. 11 – Схема геометричної триангуляції для визначення координат точки пострілу М з використанням визначених відстаней від неї до місць розташування сенсорів А, В і С

Fig. 11 – Geometric triangulation scheme for determining the coordinates of the shot point M using the determined distances from it to the locations of sensors A, B and C

Для більш точної локалізації місця пострілу розташувати сенсори потрібно, по можливості, так щоб вони утворювали трикутник, близький до рівностороннього.

Взаємозв'язок між координатами сенсорів та відстанями від них до точки пострілу можна представити такою системою рівнянь:

$$\begin{aligned} R_a^2 &= (x_m - x_a)^2 + (y_m - y_a)^2 \\ R_b^2 &= (x_m - x_b)^2 + (y_m - y_b)^2 \\ R_c^2 &= (x_m - x_c)^2 + (y_m - y_c)^2 \end{aligned}$$

де  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  – відстані від точки пострілу  $M(x_m, y_m)$  до відповідних сенсорів  $A(x_a, y_a)$ ,  $B(x_b, y_b)$  і  $C(x_c, y_c)$ .

Рішенням двох перших рівнянь системи є квадратне рівняння виду

$$ax_m^2 + bx_m + c = 0$$

$$\text{де } a = 2 \frac{x_b - x_a}{y_b - y_a} + x_a,$$

$$b = 2 \left( \frac{(R_a^2 - R_b^2 - (y_b - y_a)^2 - x_a^2 + x_b^2)}{2(y_b - y_a)} \frac{x_b - x_a}{y_b - y_a} + x_b \right),$$

$$c = \left( \frac{(R_a^2 - R_b^2 - (y_b - y_a)^2 - x_a^2 + x_b^2)}{2(y_b - y_a)} \right)^2 - R_b^2 + x_b^2.$$

Отримані під час вирішення квадратного рівняння значення координати  $x_{1m}$  та  $x_{2m}$  уточнюються за допомогою підстановки у третє рівняння.

Координата  $y_m$  розраховується за формулою:

$$y_m = y_b + \sqrt{R_b^2 - (x_m - x_b)^2}.$$

У результаті попередніх випробувань прототипу системи була досягнута точність локалізації місця пострілу біля 10 м при рознесенні сенсорів на відкритій місцевості більш ніж на 800 м.



### Висновки

За результатами виконання роботи був проведений аналіз наявних засобів контролю місцевості та попередження спеціальних служб про факти пострілів та детонації вибухівки. Досліджено особливості роботи наявних моніторингових систем. Здійснено вибір оптимальних апаратних компонентів з наявної елементної бази для реалізації системи. Так вартість апаратної складової сенсорного кластеру склала \$60. Це значно дешевше ніж світові аналоги. Розроблена функціональна схема системи та її математична модель.

За математичною моделлю реалізоване програмне забезпечення для оперативної локалізації координат пострілів та загального керування системою.

За результатами випробувань прототипу були підтверджені його прогнозовані експлуатаційні характеристики, а також визначені шляхи подальшого вдосконалення системи. А саме:

- підвищення точності класифікації гучних звукових сигналів;
- підвищення точності локалізації координат пострілів та вибухів, особливо у місцевостях із щільною забудовою;
- автоматизація процесу інформування спеціальних служб про факти пострілів та детонації вибухівки.

Однак, навіть на сучасному етапі розроблений прототип апаратно-програмного комплексу для моніторингу терористичної активності на відкритій території з використанням акустичних сенсорів може бути основою для перспективної побудови конкурентоспроможного промислового зразку.

### Список використаних джерел

1. Euston shooting: Girl, 7, and five others injured near church. *BBC News*. Publ. 2023, January 15. URL: <https://www.bbc.com/news/uk-england-london-64277185> (Last accessed: 20.06.2023).
2. Matza M. Second mass shooting in California in a few days – seven dead. *BBC News*. Publ. 2023, January 24. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-64383486> (Last accessed: 20.06.2023).
3. Global Terrorism Index 2022: Measuring the impact of terrorism. *Institute for Economics and Peace (IEP)* : web site. Publ. 2022, March. URL: <https://www.visionofhumanity.org/wp-content/uploads/2022/03/GTI-2022-web.pdf> (Last accessed: 20.06.2023).
4. Bardwell H., Iqbal M. The economic impact of terrorism from 2000 to 2018. *De Gruyter*. 2020. Vol. 27(2). P. 227-261. <https://doi.org/10.1515/peps-2020-0031>.
5. Singh R. B., Zhuang H. Measurements, analysis, classification, and detection of gunshot and gunshot-like sounds. *Sensors*. 2022, November. No. 23: 9170. <https://doi.org/10.3390/s22239170>.
6. Martyniuk A. Measuring illicit arms flows: Ukraine : briefing paper. *The small arms survey publication, supported by the German Federal Foreign Office*. Publ. 2017, April. 8 p. URL: <https://www.smallarmssurvey.org/sites/default/files/resources/SAS-BP3-Ukraine.pdf> (Last accessed: 20.06.2023).
7. Ziemann V. A hands-on course in sensors using the Arduino and Raspberry Pi. CRC Press, 2018. 258 p.
8. Strickland J. R. Raspberry Pi for Arduino users: Building IoT and Network Applications and Devices. 1st ed. Berkeley, CA: Apress, 2018. 454 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3414-3>.
9. Arseneva E., Bose P., Cano P., Silveira R. Flips in higher order Delaunay triangulations. *Lecture Notes in Computer Science book series (LNTCS)*. Springer, 2020. Vol. 12118, P. 223–234. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61792-9\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61792-9_18).

### References

1. BBC. (2023, January 15). Euston shooting: Girl, 7, and five others injured near church. <https://www.bbc.com/news/uk-england-london-64277185>
2. Matza, M. (2023, January 24). Second mass shooting in California in a few days – seven dead. *BBC News*. <https://www.bbc.com/ukrainian/news-64383486>
3. Institute for Economics and Peace (IEP). (2022, March). Global Terrorism Index 2022: Measuring the impact of terrorism. <https://www.visionofhumanity.org/wp-content/uploads/2022/03/GTI-2022-web.pdf>
4. Bardwell, H. & Iqbal, M. (2020). The economic impact of terrorism from 2000 to 2018. *De Gruyter*. <https://doi.org/10.1515/peps-2020-0031>
5. Singh, R. B. & Zhuang, H. (2022, November). Measurements, analysis, classification, and detection of gunshot and gunshot-like sounds. *Sensors*, 22(23):9170. <https://doi.org/10.3390/s22239170>
6. Martyniuk, A. (2017, April). Measuring illicit arms flows: Ukraine [Briefing Paper]. *The Small Arms Survey publication, supported by the German Federal Foreign Office*. <https://www.smallarmssurvey.org/sites/default/files/resources/SAS-BP3-Ukraine.pdf>
7. Ziemann, V. (2018). A hands-on course in sensors using the Arduino and Raspberry Pi. CRC Press.
8. Strickland, J. R. (2018). *Raspberry Pi for Arduino Users*. Apress Berkeley, CA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3414-3>
9. Arseneva, E., Bose, P., Cano, P. & Silveira, R. (2020). Flips in higher order Delaunay triangulations. *Lecture Notes in Computer Science book series (LNTCS)*, 12118, 223–234. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61792-9\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61792-9_18)

Отримана в редакції 01.11.2023. Прийнята до друку 04.12.2023. Received 01 November 2023. Approved 12 December 2023. Available in Internet 03 January 2024