

## Моделювання удосконаленої на основі методу кінцевих різниць системи аудіолокації

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Розглянуто основні теоретичні відомості, що використовувались для розробки програмної моделі звукометричної системи, яка моделює процес визначення місцезнаходження об'єкта.*

**Ключові слова:** звук, сигнали, програмні засоби, взаємнокореляційна функція, місцезнаходження.

### *Abstract*

*The main theoretical information used for the development of a software model of a sound-metric system, which simulates the process of determining the location of an object, is considered.*

**Keywords** sound, signals, software, cross-correlation function, location.

### Вступ

Одним із методів попередження загрози життю та здоров'ю людини є аудіолокація. Розпізнавання звуку може полегшити роботу службам правопорядку або військовим. Спеціалізовані звукометричні системи можна використовувати разом із охоронними системами, аби точно локалізувати місце події і мінімізувати наслідки надзвичайної ситуації [3].

Аудіолокація, або звукова розвідка – наука, що являє собою спеціальний метод розвідки, який часто використовують військовослужбовці для виконання відповідних задач. Основна задача такої розвідки – локалізація точного місця розташування джерела звуку. На ринку пристроїв аудіолокації існує багато спеціалізованих компаній, клієнтами яких є широке коло країн, зокрема, QinetiQ NA, Raytheon, Асоем-Metravib, Microflown Avispa, Ultra Electronics, які не лише створюють озброєння, а й звукометричні системи для військових.

Аналіз розробок цих компаній дозволив авторам дослідження виявити низку їх недоліків, а саме: дальність їх ефективного застосування не є достатньою (переважно до 400 м), компактність і складність таких систем негативно впливає на їх масове виробництво, крім того, налаштування та обслуговування вимагають великих часових витрат. Слід відзначити і доволі високу їх ціну. Не зважаючи на актуальність та необхідність даного виду систем, лише кілька корпорацій створюють звукометричні системи, які, до того ж, є дорогими, складними в обслуговуванні та користуванні, що унеможливорює їх широке застосування для вирішення військових задач в різних країнах світу, зокрема, в Україні. Це зумовлює потребу розроблення власної аудіолокаційної системи, що має бути позбавлена окреслених вище недоліків.

### Результати дослідження

Автори дослідження пропонують універсальну систему аудіолокації, що може бути налаштована для розпізнавання будь-якого звуку і на будь-якій дистанції. Базовою умовою ефективної роботи такої системи є те, що звук, що поступає на приймач, має бути зашумленим на достатньому для розпізнавання напрямку рівні.

Пропонована система має три модулі: кластер приймачів, пристрій для оброблення та програмний засіб для розрахунку. Вона є легко адаптованою: ПЗ є гнучким до змін, програмно реалізовані мікрофони замінюються реальними пристроями, пристрій для розрахунку може бути змінюваним також. Крім того, елементна база є доступною і недорогою, що уможливорює її легку заміну в разі виходу з ладу будь-якого елемента. За наявності запасних модулів, робочий стан системи може бути швидко відновлений.

Моделювана система має простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що симулює процес локалізації звуку, є можливість налаштовувати базові параметри, як от частоту, відстань. Симулятор легко перетворюється на реальний аналог, що може бути використаним у бойових

умовах. Вартість створення і підтримання системи визначається вартістю її окремих модулів і є значно меншою, ніж аналогічні системи вище описаних виробників. Така система налаштована на симуляцію справжніх процесів, відтворення яких в реальному житті є доволі складним, дорогим чи, інколи, навіть неможливим.

В основі звукометрії лежить метод кінцевих різниць, до використання якого застосовують різні підходи. Найпростіший метод інтерполяції є метод кінцевих різниць, він є одним із найпопулярніших методів через його простоту та можливість обчислення для великої кількості різних задач. Отже, для розроблення звукометричної системи автори пропонують використовувати метод кінцевих різниць. Він дозволить провести числовий розрахунок диференціальних рівнянь. Диференціальні обчислення є основою процесу локалізації напрямку джерела звуку [1]. Під час моделювання системи обробляються оцифровані дані, що надходять від приймачів. Для підвищення швидкості оброблення даних було використано взаємно кореляційну функцію (ВКФ) [2], зокрема, для того, щоб визначити, чи один і той самий сигнал обробляє програма та чи не надходить він із затримкою, і яку саме величину становить ця затримка. Отже, така функція дозволяє визначити подібності двох різних сигналів та співвідношення з ними.

Очевидно що при надходженні звуку від джерела до приймача буде затримка, яка залежить від відстані, оскільки звук та його програмно змодельована копія являють собою фізичне явище, що має обмежену швидкість надходження. ВКФ дозволяє оцінити зміщення досліджуваного сигналу відносно сигналу, на основі якого воно і знаходиться. Звідси випливає, що під час виконання обчислень крос-кореляційної функції зі зміщеним першим масивом, ми матимемо результат 0, тому необхідно виконати перевірку першого масиву на зміщення, використавши за основу другий масив. Якщо зсув наявний, то потрібно визначити його величину. Розрахунки здійснюються на оцифрованих даних, що представлено масивами значень, а отже, для пошуку часової затримки між надходженням сигналу на різні мікрофони, необхідно визначити на скільки елементів масиву зсунуто набори даних. Кількість елементів відповідатиме часовому проміжку, за яким можна розрахувати кут на джерело звуку.

Розрахунок кута здійснюємо так

$$\cos\alpha = \frac{v \cdot n}{l \cdot F},$$

де  $v$  – швидкість поширення звуку;

$n$  – кількість елементів зміщених в масиві;

$l$  – дистанція між приймачами;

$F$  – частота дискретизації.

Застосовуючи косинус та арккосинус, можна визначити кут до джерела. Проте, тригонометрична функція не є рівномірною, а тому, показуватиме не однаково якісні результати. Для усунення цього дефекту було створено 4 конфігурації приймачів, що зображено на рис. 1.

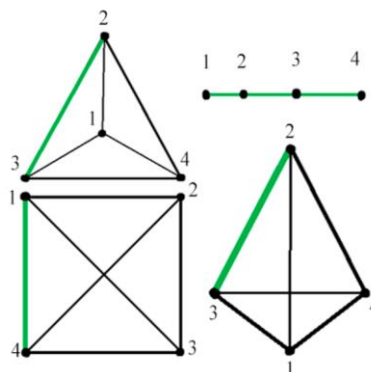


Рисунок 1 – Розроблені конфігурації приймачів

Конфігурації у вигляді лінії та квадрата були використані для порівняння результативності із трикутною та дельтоїдною. Експерименти довели, що квадратна та лінійна конфігурація виявилися найгіршими, тому надалі їх не доцільно розглядати. Дельтоїдна та трикутна конфігурації показали найкращі результати з похибкою до 1°.

Трикутник запрограмовано як рівносторобічний, що має мікрофон на перетині медіан і бісектрис, висот. Ця точка також є центром даного кластера, що використовується для розрахунку положення вершин трикутника. Мікрофонні пари оптимально розміщено для точних вимірювань завдяки формі конфігурації. Однією з найкращих особливостей цієї конструкції є те, що кожна пара зміщена відносно інших на певний кут та завдяки розташуванню покриває два сектори в 30 градусів, що розташовані перпендикулярно до пари; центральний мікрофон, відповідно, знаходиться в центрі. Однак така конструкція не позбавлена недоліка: відбувається зниження точності через те, що один мікрофон знаходиться в центрі конфігурації і відстань у деяких парах невелика. Для уникнення цього недоліку скористаємося дельтоїдною конфігурацією, оскільки вона схожа на трикутну секторним покриттям кутового діапазону, проте всі відстані там є більшими, що покращує точність вимірювань.

Під час аналізу отриманих експериментальних даних роботи конфігурацій приймачів виявлено, що навіть у найкращій конфігурації є пара, результат знайденого кута якої, відрізняється від дійсного значення кута найбільше. Для того, щоб мінімізувати вплив результату такої пари та обрати один ймовірніший результат для кожної пари, що відповідає значенню дійсного кута, проведено коригування отриманих результатів шляхом визначення мінімальної кутової дисперсії [3]. Наприклад, нехай маємо 6 пар. Для кожної пари алгоритм знаходить по 2 кута, а отже існує 64, чи  $2^6$  комбінацій кутів кожної пари.

Щоб визначити найменш точний результат, обчислимо мінімальну можливу дисперсію для всіх пар водночас. Потім обчислимо правильний кут на базі цієї інформації.

Для визначення найбільш точних значень кожна пара даних обчислюється та їх результати порівнюються. Будь-яка пара, результат якої вважається неприйнятним, відкидається, а середнє арифметичне обчислюється з використанням найбільш ймовірних значень для всіх інших пар.

У результаті дослідження встановлено, що, завдяки використанню методу кінцевих різниць та його удосконалення на основі ВКФ, можна отримати набір результатів, які відповідатимуть двом значенням кутів можливого напрямку до джерела звуку на кожному парі приймачів. Із використанням статистичного коригування [4] отриманих результатів можна визначити напрям до джерела із кутовою похибкою, меншою за  $1^\circ$ .

## Висновки

Аналіз недоліків існуючих на ринку звукометричних систем дозволив під час розроблення власної системи позбавитися основних їх вад. Розроблена система є універсальною, її можливо налаштувати для розпізнавання будь-якого звуку і на будь-якій дистанції. Система, що пропонується, має простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який адаптований під симуляцію знаходження звуку і в ньому можна налаштовувати необхідні параметри, як от частота, відстань. Вартість створення і підтримання системи визначається її окремими модулями і становить набагато меншу суму, ніж системи аналогії, які наведено вище.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Localization of multiple sound sources with two microphones / C. Liu et al. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2000. Vol. 108, no. 4. P. 1888 – 1905. URL : <https://doi.org/10.1121/1.1290516> (Date of access: 08.10.2022).
2. Кореляційна функція. Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Кореляційна\\_функція](https://uk.wikipedia.org/wiki/Кореляційна_функція) (Дата звернення: 17.11.2022).
3. Дисперсія випадкової величини. Вікіпедія. Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Дисперсія\\_випадкової\\_величини](https://uk.wikipedia.org/wiki/Дисперсія_випадкової_величини) (Дата звернення: 17.11.2022).
4. Статистична обробка даних. URL : <https://ivt.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/04/posibnyk-sod.pdf> (Дата звернення: 18.11.2022).

**Щур Дмитро Сергійович** – студент групи ІКІ-21м, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [baffer77@gmail.com](mailto:baffer77@gmail.com).

**Азарова Анжеліка Олексіївна** – к. т. н., професор, Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [azarova.angelika@gmail.com](mailto:azarova.angelika@gmail.com).

**Shchur S. Dmytro** – Student of ICE-21m group, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [baffer77@gmail.com](mailto:baffer77@gmail.com)

**Azarova O. Anzhelika** – PhD in technique, professor, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [azarova.angelika@gmail.com](mailto:azarova.angelika@gmail.com).