

УДК 621.3

МАКЕТ ПРИСТРОЮ ЛОКАЦІЇ ДЖЕРЕЛА ВОГНЕПАЛЬНИХ ПОСТРІЛІВ

Д.Д. Волков, О.Ю. Круглик

НТУУ «КПІ», Факультет електроніки, Київ, Україна, e-mail: den.iron.wolf@gmail.comНТУУ «КПІ», Факультет електроніки, Київ, Україна, e-mail: alex.love.broadcast@gmail.com

В роботі запропоновано структурну схему пристрою локації джерела вогнепальних пострілів. Представлено опис структурної схеми та принцип функціонування макету пристрою. Дано пояснення алгоритму запису та обробки сигналу. Приведені результати лабораторних випробувань макету та оцінка похибки пеленгування приладу.

In this article, the block diagram of a gunshot location device is proposed. A description of the block diagram, functioning principles of the prototype unit, and a signal processing algorithm is given. The results of laboratory tests and accuracy appraisal of direction finding are given, too.

Ключові слова: *постріл, акустична хвиля, аудіоаналітика, метод пеленгування, цифрова обробка сигналів*

Key words: *shot, acoustic waves, audioanalytics, bearing method, digital signal processing*

Вступ

Обробка записів вогнепального пострілу дозволяє отримати інформацію про розташування зброї, швидкість і траєкторію кулі, і в деяких випадках тип зброї і патрона [1]. Спеціальні акустичні системи обробки записів для виявлення і локалізації пострілу в реальному часі використовуються військовими і правоохоронними органами для виявлення снайперів [2, с. 152]. Подібні комплекси застосовуються в ряді армій іноземних держав і добре себе зарекомендували. Криміналістична експертиза аудіо записів також використовується, для забезпечення доказів у кримінальних і цивільних справах [3,4].

Опис механізму формування досліджуваних звукових хвиль

В вогнепальній зброї застосовується зосереджений вибуховий заряд, що виштовхує кулі та інші види балістичних снарядів, з циліндричного ствола який задає траєкторію польоту. Газу, швидко розширюючись в замкнутому об'ємі, спричиняють вибухову акустичну хвилю яка поширюється зі швидкістю звуку. У випадку гвинтівки вибухова акустична хвиля називається «дульна хвиля».

Коли куля рухається з надзвуковою швидкістю, її динаміка змінюється і відповідно сигнал який генерується теж змінюється. Хвильовий фронт поширюється позаду джерела в формі конуса, я це показано на рис. 1.

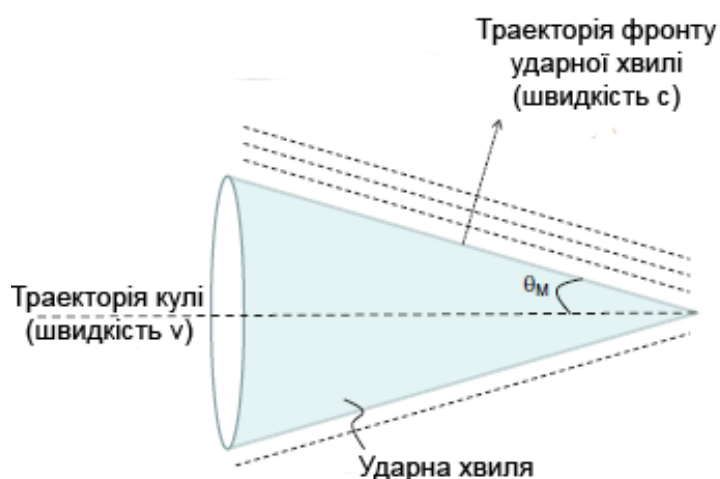


Рис. 1 Хвильовий фронт згенерований кулею

Поверхня конуса формує надзвуковий фронт хвилі з високою амплітудою яка називається «ударна хвиля». Типовий сигнал згенерований надзвуковою кулею зображено на рис. 2.

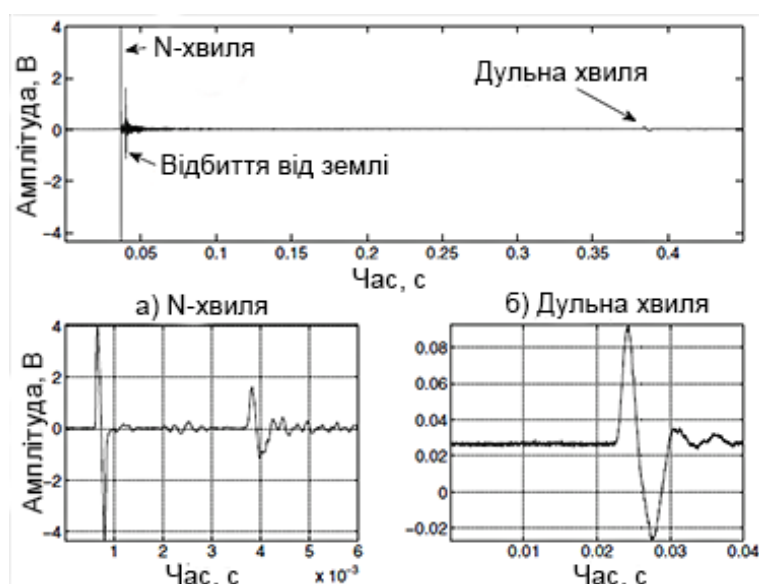


Рис. 2 Форма хвилі згенеровано кулею

Сигнал має три відмінні форми, які називаються: (а) велика N-подібна хвиля, відповідає ударній та сигналу відбитої N хвилі від землі, і (б) дульна хвиля. Зазначимо, що амплітуда сигналу різна для кожної хвилі [2, 5].

Опис структурної схеми приладу

На даний момент пристрій функціонує за схемою, що представлена на рис. 3

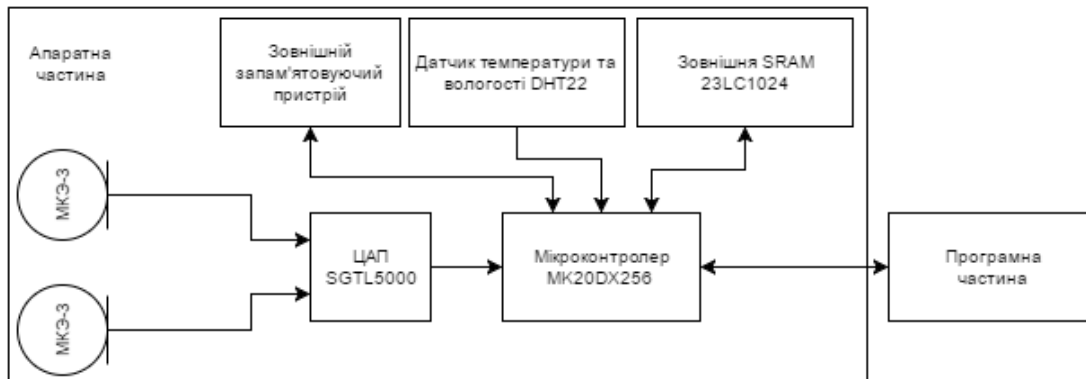


Рис. 3 Структурна схема приладу локації пострілу

По приходу ударної хвилі, що фіксується мікрофонами **МКЭ-3** запускається запис по двом каналам. Сигнал з мікрофонів потрапляє на аудіомодуль на базі ЦАП **SGTL5000**, де відбувається його дискретизація з частотою 44,1 кГц, квантування розрядністю 16 біт/семпл та запис до зовнішньої оперативної пам'яті **23LC1024**. Одночасно надсилається запит про температуру та вологість навколишнього середовища до датчика **DHT22**, на основі даних якого виконується розрахунок актуальної швидкості звуку.

Основна обробка сигналу відбувається на 32-бітному процесорі **МК20DX256** на базі архітектури **ARM Cortex-M4** із тактовою частотою 96 МГц. Розрахована інформація про координати пострілу записується на флеш-накопичувач **SanDisc 10** класу.

Живлення пристрою забезпечує **літій-іонний акумулятор на 1200 мА·г**, що заряджається модулем на базі контролера заряду **TP4056**.

Весь пристрій розміщено у компактному корпусі, на верхній панелі якого знаходяться:

- роз'єм MicroUSB (для зарядки, зчитування даних та перепрограмування).
- LED-індикація заряду/розряду та стану роботи процесора
- тумблер вмикання/вимикання.

На нижній панелі:

- роз'єм для microSD карти пам'яті,
- універсальний вхід для електретних або електро-динамічних мікрофонів.

Опис програмної частини

Алгоритм реалізується мовою програмування C++11 з використанням бібліотек STL, Arduino, AudioLibrary.

З ЦАП зчитуються данні з двох каналів та записуються до циклічного буферу розміром 11008 семплів, паралельно визначається рівень шуму N відносно якого регулюється рівень спрацьовування компаратора, як $N + 10\text{дБ}$. Якщо піковий рівень вхідного сигналу по одному з

каналів перевищує задане значення компаратора, це означає, що надійшла ударна хвиля. За цим буфер заповнюється до кінця та зупиняється запис. Розмір буферу 11008 семплів відповідає 250 мс. Перший етап аналізу дає «грубі» значення величин ΔT_{SW} , ΔT_{BW} та ΔT_{TOA} , точність цих величин обмежена частотою дискретизації ЦАП – 44,1 кГц та розміром акустичної бази – 34 см. На другому етапі значення ΔT_{SW} та ΔT_{BW} уточнюються шляхом оберненої лінійної інтерполяції сигналів. Третій етап включає у себе визначення швидкості звуку у середовищі базуючись на значеннях температури та вологості повітря отриманих з датчику DHT22 та алгоритмі запропонованому у [6]. Остаточні значення локації джерела пострілу розраховуються за наступними формулами:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{c\Delta T_{BW}}{d}\right), \quad (1)$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{c\Delta T_{SW}}{d}\right), \quad (2)$$

$$R = \frac{c\Delta T_{TOA}}{1 - \cos(\beta - \alpha)}, \quad (3)$$

де: α – пеленг на джерело пострілу; β – кут між акустичною віссю бази мікрофонів та нормаллю до фронту ударної хвилі; d – розмір бази; c – швидкість звуку, R – відстань до джерела пострілу; ΔT_{SW} – часова затримка між приходом ударної хвилі; ΔT_{BW} – затримка між приходом дульної хвилі; ΔT_{TOA} – усереднене по двом каналам значення затримки між дульною та ударною хвилями.

Після розрахунку згідно виразів (1) – (3), отримані значення записуються до карти пам'яті та сигналізуються користувачу.

Лабораторне випробування

Оскільки для правильної локації джерела пострілу необхіднокоректно визначати кути пеленгу, то лабораторне випробування відбувалося наступним чином: на відстані 5 м від акустичної бази розташовувалося джерело звуку (гучномовець), який через підсилювач потужності з'єднано зі аудіоінтерфейсом ПК. Акустична база пристрою, яка представляє собою два мікрофони закріпленні на відстані 34 см один від одного, зафіксована на поворотному столі за допомогою якого можна контролювати кут повороту. Почергово повертаючи стіл на кут $\alpha_{дійсне}$, що вказані у табл. 1, з гучномовця випромінювався радіоімпульс тривалістю 200 мкс, та частотою заповнення 5 кГц. Розраховані кути та абсолютна похибка наведені у табл. 1.

Лабораторний експеримент проводився за наступних умов: $t^\circ = 17^\circ \text{C}$, $p_{cm} = 1 \text{ атм}$, $RH = 40\%$, $c = 342 \frac{\text{м}}{\text{с}}$,

Таблиця 1. Результати лабораторного випробування

$\alpha_{\text{дійсне}}, ^\circ$	0	15	30	45	60	75
$\alpha_{\text{експ}}, ^\circ$	0,23	14,49	30,06	45,35	58,11	74,43
	0,19	14,47	30,02	45,30	58,62	74,44
	0,05	14,47	30,02	45,53	58,04	74,44
$m_\alpha, ^\circ$	0,16	14,48	30,03	45,39	58,26	74,44
$\Delta\alpha, ^\circ$	0,16	0,52	0,03	0,39	1,74	0,56

Висновки

Розроблюваний пристрій автоматично розпізнає зазначені хвили, розраховує час між дупльними та ударними хвилями та часову затримку хвиль між двома каналами запису. На основі цих даних проводиться розрахунок місцеположення джерела вогнепального пострілу.

Отримані результати підтвердили правильність вибраного алгоритму. Максимальна похибка визначення пеленгу не перевищує 2° , а відстані — 5 м.

Література

1. Peter Volgyesi, Gyorgy Balogh, Andras Nadas, Christopher B. Nash, Akos Ledecz, «Shooter Localization and Weapon Classification with Soldier-Wearable Networked Sensors»
2. T. Damarla, «Battlefield Acoustics»
3. W. Choi, «Selective Background Adaptation Based Abnormal Acoustic Event Recognition for Audio Surveillance»
4. L. Gerosa, «SCREAM AND GUNSHOT DETECTION IN NOISY ENVIRONMENTS»
5. Robert C. Maher, «MODELING AND SIGNAL PROCESSING OF ACOUSTIC GUNSHOT RECORDINGS»
6. Owen Cramer, «The variation of the specific heat ratio and the speed in air with temperature, pressure, humidity, and CO_2 concentration», THE JOURNAL of the Acoustic Society of America, Vol. 93, No. 5, May 1993

Рекомендовано до публікації: к.т.н., доц. Козерук С.О.

НТУУ «КПІ», Факультет електроніки, кафедра ААЕ, Київ, Україна