

ROBOTIC FLAMETHROWER COMPLEXES AS A PROSPECT FOR THE DEVELOPMENT OF FLAMETHROWER UNITS

I. Martyniuk, E. SHmatov, O. Stadnichuk, T. Pogrebnyak, V. Larionov, I. Homeniuk

The war in Ukraine and, as a result, the growth of international tensions became the main issue of national security and the need to identify effective prospective weapons. In conditions where the enemy is significantly superior in all components (technically and quantitatively), unmanned (robotic, remotely controlled) powerful fire weapons are able to influence the course of hostilities. The war Nagorno-Karabakh (2020) in and Ukraine (2014-2022) showed the high effectiveness of weapons placed on unmanned (robotic) platforms. The development and adoption of new weapons systems and military equipment, high-precision means of reconnaissance and attack, automated control systems will lead to the review and reform of the organizational and personnel structure of the troops, the timeliness and efficiency of the execution of combat tasks, the maximum preservation of personnel, etc. One of these means of fire damage can be a robotic flamethrower complex. The prospect of using robotic systems, their tactical and technical justifications are quite relevant and in demand in today's conditions. The purpose of the research is to study the perspective of using a robotic flamethrower complex, to determine its main characteristics, role and place in the organizational and staff structure of a flamethrower platoon of a radiation, chemical, biological protection company. The work analyzes the typical organizational and personnel structure of a flamethrower platoon and its combat capabilities. Tactical and technical characteristics for the development of a new robotic flamethrower complex were proposed, and a new typical organizational and personnel structure of the flamethrower platoon, which will be adopted, was developed. The effectiveness (probability) of hitting the target with the proposed weapon sample was calculated. Based on the analysis of the obtained results, the main advantages of the flamethrower platoon, which will be armed with a robotic flamethrower complex, are formulated. In particular, the autonomy of task performance, high accuracy of damage, mobility and survivability, increased damage range and power of flamethrower shots, the ability to perform tasks in any weather and at any time of the day, and the absence of a psychological factor. The introduction of a robotic flamethrower complex into the staff of a radiation, chemical, biological protection company will help reduce the number of personnel on the battlefield.

Keywords: autonomous weapon system, flamethrower platoon, robotic flamethrower complex, effectiveness of defeat, combat capabilities

УДК 358:007.35

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.35-45>

І.Б. Трач¹, Г.І. Клим^{2,3}, Р.В. Дячок², І.Д. Карбовник^{2,3}

¹Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

²Національний університет «Львівська політехніка», Львів

³Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів

Article history: Received 16 September 2022; Revised 20 September 2022; Accepted 25 October 2022

ПРОЄКТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ДО ДЖЕРЕЛА ЗВУКУ

Розглянуто проблему розроблення мікропроцесорних пристроїв для визначення напрямку на джерело звуку з підвищеною точністю. Проаналізовані основні розробки провідних закордонних та вітчизняних дослідників щодо аналогічних рішень. Спроектовано мікропроцесорний пристрій для визначення напрямку на джерело звуку з використанням сучасної елементної бази. Детально охарактеризовано структурну та функціональну схеми запропонованого пристрою. Ядром обрано 32-розрядний мікроконтролер STM32, який здійснює всі дії щодо реалізації алгоритмів опрацювання звуку проєктованим пристроєм. Як вхідні сигнали використано електричні коливання в аналоговій формі на виходах трьох мікрофонів. Одержані сигнали підсилюються мікрофонними підсилювачами із програмно керованим коефіцієнтом передачі до номінального рівня роботи АЦП. Використання такого мікрофонного підсилювача звуку із програмно керованим рівнем підсилення дозволило гнучко реагувати на рівень звукового сигналу середовища і підтримувати на вході АЦП номінальний рівень вхідного сигналу. Такий підхід дозволив зменшити як рівень шумів (при малому рівні вхідного сигналу), так і рівень спотворень сигналу (при потужному сигналі).

Ключові слова: мікропроцесорний пристрій, проєктування, напрямок на джерело звуку, надійність, мікрофонний підсилювач.

Постановка проблеми

На сьогодні використовують декілька методів знаходження просторових координат об'єктів за допомогою сенсорних пристроїв. В основі цих методів лежить розпізнавання образів рухомих і нерухомих зображень, побудова інерціальних навігаційних систем та пеленгації за допомогою хвиль в радіодіапазоні.

Звичайна вогнепальна зброя використовує обмежений заряд вибухової речовини для приведення в рух кулі зі ствола зброї. Гарячий, швидко розширюваний газ викликає акустичний вибух, що з'являється на кінці ствола. Це акустичне збурення триває 3-5 мс і поширюється у повітрі зі швидкістю звуку. Якщо два або більше мікрофонів розташовані у відомих місцях на шляху поширення вибухової хвилі, різниця часу прибуття може бути використана для визначення джерела пострілу. Отже, постріл зі стрілецької зброї супроводжується звуком, який сприяє викриттю противником факту застосування зброї та демаскуванню місця розташування стрільця. Ці обставини дозволяють надійно реєструвати ударні хвилі на значних відстанях.

Досвід проведення Антитерористичної операції на Сході нашої держави вказує на необхідність оперативного визначення вогневих позицій (ВП) противника. Особливе місце в цьому процесі відводиться технічним засобом розвідки та виявлення. На озброєнні ЗСУ сьогодні перебувають звукометричні комплекси для виявлення місцеположення вогневих позицій артилерії, такі як АЗК-7, Положення-2 та ін.. При цьому на відміну від збройних сил розвинених держав світу в ЗС України відсутні АЗВП (акустичні засоби виявлення пострілу) зі стрілецької зброї.

Висока вартість закордонних зразків таких засобів і відсутність вітчизняних аналогів зумовлює нагальну потребу у створенні власних акустичних засобів виявлення пострілу. Основною вимогою до розроблених зразків таких засобів має бути менша їх вартість та не гірші за аналоги тактико-технічні характеристики. Ефективне вирішення цієї задачі дозволить у найкоротші терміни забезпечити АЗВП зі стрілецької зброї бойові підрозділи в зоні проведення Антитерористичної операції. При цьому слід вирішити ряд важливих наукових та практичних задач. Зокрема, слід провести науково-технічний аналіз існуючих АЗВП та методів оброблення акустичних даних. Уточнення потребує класифікація систем виявлення пострілу.

Отже, акустичні системи визначення пострілу потрібно розробляти в Україні негайно. При цьому не тільки індивідуальні для виявлення снайперів, але і для охорони блокпостів, таборів і для установки на

бойову техніку. Вони здатні не тільки зберегти сотні життів українських солдатів, а й переломити хід у війні. Так, в кінці кінців, відучити противника стріляти по наших солдатах. Тому не менше, ніж бронезилети і тепловізори, армії потрібні системи визначення пострілу, щоб знати, куди стріляти.

Саме тому в роботі розглянуто проектування мікропроцесорних пристроїв для визначення напрямку до джерела звуку з високою точністю. Проаналізовано основні розробки провідних зарубіжних та вітчизняних дослідників щодо подібних рішень. Мікропроцесорний пристрій був розроблений для визначення напрямку до джерела звуку за допомогою сучасної елементної бази. Детально описана структурна та функціональна принципова схема запропонованого пристрою. Розраховано надійність схеми та середній час роботи пристрою до виходу з ладу. Розглянуто кілька варіантів алгоритмів обчислення напрямків до джерела звуку. Для перевірки працездатності пристрою було змодельовано схему підсилювача мікрофона.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні постає актуальна проблема розробки та впровадження в експлуатацію пристроїв, що дають змогу визначати замасковані вогневі позиції противника в ході бою, в тому числі вогневі точки снайперських пар. Використання таких засобів військового озброєння (ЗВО) підвищує виживання особового складу та техніки.

Для вирішення таких задач використовують акустичну систему, в склад якої входить електронний блок та три мікрофони [1, 2]. Ця система в режимі постійного часу аналізує навколишнє середовище на наявність звукових хвиль під час бойових дій та фіксує часові відмінності надходження звукових хвиль до кожного з реєструючих пристроїв, таким чином визначаючи положення джерела звуку.

Принцип дії таких приладів базується на визначенні затримки у надходженні аудіосигналів до кожної пари мікрофонів. Максимальна кореляція двох сигналів визначається часовою затримкою між ними. Два реєструючі прилади, мікрофони, дають один сигнал реальний і один фантомний. Відповідно три пари будуть давати шість сигналів. Провівши фільтрацію вхідних звукових сигналів, відкидають фантомні сигнали та отримують напрямок їх надходження.

Для реєстрації та запису звукових сигналів застосовують датчики типу манометр або генератор. Зазвичай реєстраторами тиску слугують вухо людини та звичний мікрофон. Практично тільки ці типи рекордерів використовуються при аналізі звукових

полів у газових середовищах. У гідроакустиці часто використовуються коливальні рекордери швидкості [3]. У зв'язку з цим необхідно розробити спеціалізовані мікропроцесорні пристрої, які дозволять з більшою точністю визначати напрямок джерела звуку.

Основні роботи щодо визначення спрямованості джерела звуку зосереджені на розробці методів і засобів визначення відстані до джерела акустичних сигналів [4-6]. У [7] запропоновано метод градієнтної обробки акустичних сигналів та визначення відстані до джерела акустичних сигналів. Оцінюються також розсіювання акустичних сигналів та їх ослаблення потужності в середовищі поширення.

Ряд дослідників зосередили свою роботу на теоретичних та модельних розрахунках можливостей створення системи визначення координат джерела звуку [4, 8]. Також запропонований і впроваджений метод спуску градієнта зі ступеневим дробленням як алгоритм побудови мобільних додатків.

У [5, 6, 8] розглянуто деякі випадки локалізації джерел пострілу при паралельній орієнтації траєкторії кулі та нормалі до акустичної основи. Також була запропонована схема локалізації, яка спростила алгоритм обчислення, порівняла теоретичні розрахунки та експериментальні дослідження [9].

Дослідження, проведені в роботі [10, 11], спрямовані на розробку структури розподіленої автоматичної звукової системи артилерійської розвідки. Вона реалізована як система автономних динаміків, розташованих у районі за відомими географічними координатами, підключеними по бездротових каналах зв'язку до сервера. Така система скорочує час виявлення та ідентифікації цілей порівняно з аналогами. Ця система також може бути реалізована на основі системи стільникового зв'язку.

Однак попри на широке використання подібних систем, їх основне призначення є мілітарне. Тому більшість розробок зосереджені на оборонних темах.

Формулювання мети статті

Метою роботи є розробка власного економічно ефективного мікропроцесорного пристрою (МП) для визначення напрямку джерела звуку з високою точністю, а також розробка алгоритмів розрахунку напрямків до джерела звуку.

Виклад основного матеріалу

Для конструювання МП було використано низку подібних схемних рішень для існуючих прототипів [12]. Основний 32-розрядний мікроконтролер (МК) STM32 (рис. 1) обраний у вигляді MCU, який виконує

всі етапи реалізації алгоритмів обробки звуку проектного пристрою. В якості вхідних сигналів використовувались електричні коливання в аналоговій формі на виходах трьох мікрофонів (рис. 1). Отримані сигнали підсилюються мікрофонними підсилювачами з регульованим програмним відношенням до номінального рівня АЦП. Використання такого мікрофонного підсилювача з підсиленням програмним посиленням дозволить гнучко реагувати на рівень звуку медіа-модуля та підтримувати номінальний рівень вхідного сигналу на вході АЦП. Такий підхід дозволяє зменшити як рівень шуму (при низькому рівні входу), так і рівень спотворення сигналу (при високій силі сигналу).

Як зазначалося вище, пристрій містить три віддалені мікрофони, які прикріплюються через кабелі. Мікрофонні підсилювачі в кожному каналі розділені на дві частини. Перша частина розміщена біля мікрофона і перетворює вихідний сигнал у диференціальний сигнал з низьким внутрішнім опором. Друга частина підсилювачів мікрофона розташована всередині самого пристрою, перетворюючи диференціальні вхідні сигнали в нормальну форму, видаляючи перешкоди загального типу, які можуть бути викликані лінією зв'язку. Підсилювачі другої частини підсилювачів мікрофона програмно керуються, що дозволяє програмно здійснювати регулювання до номінальних рівнів, які потребують входи АЦП. Слід зазначити, що в цій розробці використовується вбудований MCU ADC, що дозволяє легко перетворювати аналогові сигнали в цифрову форму та обробляти їх за необхідними алгоритмами. Отримані результати відображаються на панелі дисплея та передаються по каналу Ethernet для подальшого аналізу. Для правильного функціонування пристрою також необхідно мати автономне джерело живлення, яке забезпечить енергією всі вузли.

Функціональна схема пристрою для визначення напрямку джерела звуку показана на рис. 2. Вся функціональність реалізована програмним забезпеченням та ресурсами MCU. Зовнішні елементи схеми виконують функцію приведення рівнів сигналу до номінальних рівнів. Відомо, що сучасні мікроконтролери мають добре розвинену структуру і використовують спеціалізовані операційні системи в режимі реального часу, щоб реалізувати всі свої можливості. У цьому випадку буде використовуватися система опрацювання відкритого ключа RTOS. Це дозволяє створювати програми, використовуючи кілька потоків, які формують свої функції в режимі реального часу. Реалізація алгоритмів буде як окремі потоки за допомогою вдосконаленої системи переривань.

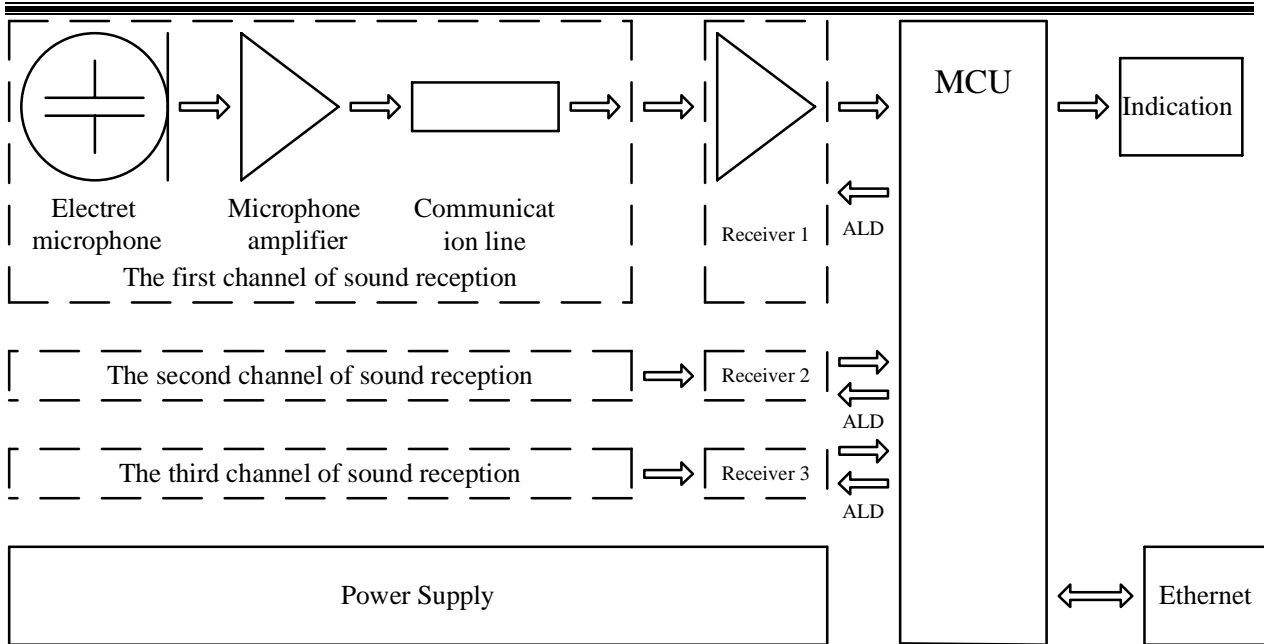


Рис. 1. Структурна схема пристрою для визначення напрямку джерела звуку

Для отримання входів АЦП номінального рівня окремі потоки будуть генерувати керуючі сигнали для системи керування посиленням амплітуди (АГР). Це дозволить використовувати значення зчитування АЦП та генерувати такі сигнали управління для систем АЦП, які повільно змінюють передачі підсилювачів

мікрофона. Виходи АЦП отримують цифрові потоки даних, які подаються в кільцевий буфер для накопичення (необхідний для реалізації алгоритму пошуку взаємної кореляції). Кільцеві буфери побудовані таким чином, що кожен нові дані зміщують застарілі дані з буфера.

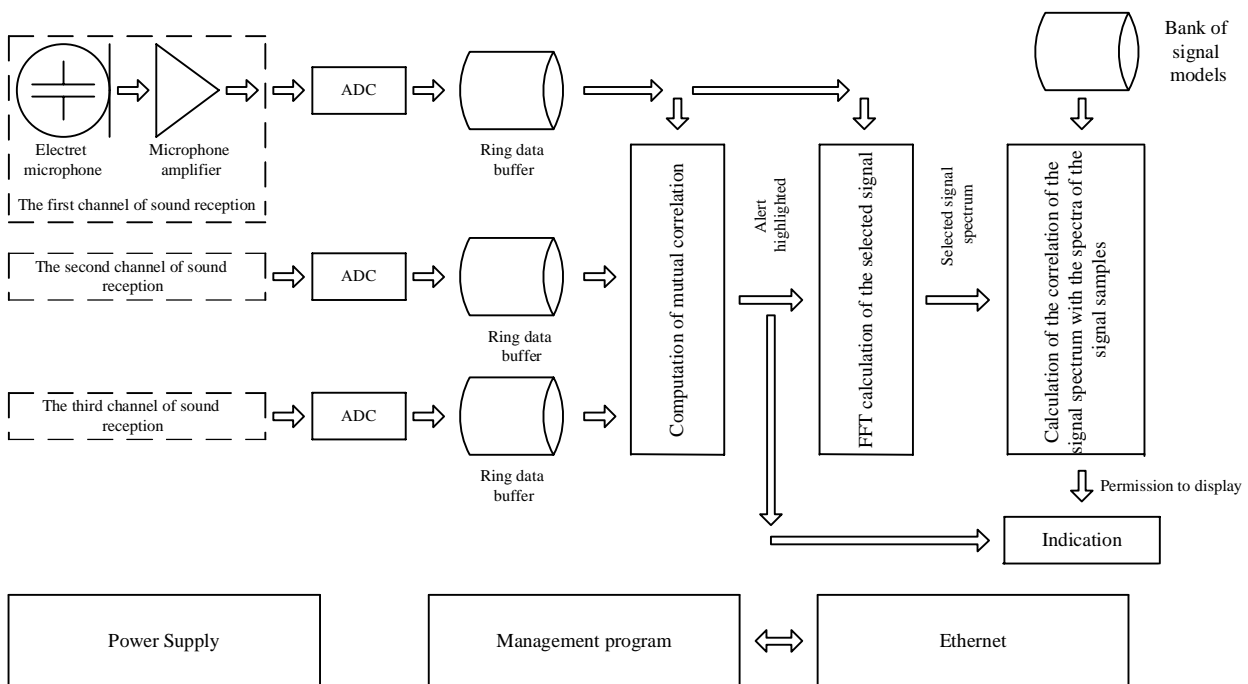


Рис. 2. Функціональна схема пристрою, що визначає напрямок джерела звуку

На першому кроці алгоритм кореляційного пошуку має можливість для кожного з приймаючих каналів із затримкою знаходити відповідні дані. Якщо такі фрагменти даних будуть виявлені, обчислюється

взаємна затримка звукового вводу в кожному з кільцевих буферів. Після порівняння даних алгоритм може однозначно обчислити напрямок до джерела звуку. На другому кроці вибрані сигнали перетворюються

алгоритмом FFT в спектральне подання [13], яке можна інтерпретувати як масив даних, придатний для розпізнавання типу джерела звуку. На третьому етапі розпізнається тип джерела звуку. Для цього масив спектральних даних прийнятого сигналу порівнюється з базовими типами сигналів. Порівняння проводиться за допомогою алгоритму зворотної кореляції. Зразок, який дав найбільшу кількість відповідних характеристик, вважається типом сигналу.

Окрім визначення типів сигналів може використовуватись програмне забезпечення з можливістю запам'ятовування параметрів невідомих сигналів у базі даних. Виявлені сигнали відображаються на панелі дисплея (побудованій за допомогою триколірних світлодіодів), що не тільки вказує на спрямованість джерела звуку, але й швидко відображає характеристику отриманого звуку, виділяючи кадри найперів червоним кольором.

Програма мікроконтролерів має загальну процедуру управління, яка забезпечує виконання всіх своїх функцій, а також забезпечує безперервний потік даних по всіх блоках та відображає отриману інформацію для індикації. Крім того, відбувається передача даних на зовнішній сервер для подальшого аналізу.

При реалізації електричної схеми пристрою використовуються сучасні базові та схемові рішення. Мікроконтролер STM32F4 з вбудованими АЦП та ЦАП значно спрощує роботу з аналоговими сигналами. Налаштування АЦП дозволяє проводити одноразові та циклічні вимірювання. Для перетворення на максимальних швидкостях необхідно дотримуватися діапазону напруги 2,4...3,6 В. Для управління внутрішнім температурним мікроконтролером використовується вбудований датчик температури. Вихід датчика через мультиплексор підключений до АЦП. Структура мікроконтролера включає інтегровані комірки Embedded Trace Macrocell, що значно розширює функції налагодження, дозволяючи в режимі реального часу спостерігати за потоком інструкцій та даних у середині ядра ЦП.

У цій розробці використовуються електричні мікрофони. Типова схема введення сигналу на мікрофон зображена на рис. 3. Однак головним її недоліком є невідповідність параметрів (необхідний рівень посилення слабких та стискання голосних звуків на коротких і великих відстанях) для завдань, які необхідно вирішити мікрофонним входом проектного апарату.

За допомогою програми Multisim проводилось моделювання тракту підсилювача мікрофона (рис. 4). Мікрофон змодельований польовим транзистором Q1 та резистором R1. Резистор R1 призначений для захисту виходу операційного підсилювача U1A від перевантаження під час роботи пристрою. Операційний підсилювач U1B використовується на ділянці

інвертування сигналу. Резистори R6, R7 утворюють ділянку зворотного зв'язку і встановлюють коефіцієнт підсилення на 1. Вихід операційного підсилювача U1B зкомутований через резистор R9, який призначений для захисту виходу U1B від перевантаження під час роботи.

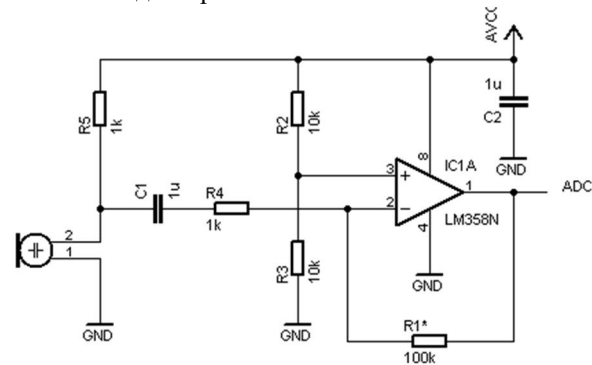


Рис. 3. Стандартна схема входу електричного мікрофона

Оскільки каскад операційного підсилювача U1B інвертує сигнал, то на вході змодельованої ділянки диференціальна пара сигналів видаляється з мікрофона. Передача сигналів на великі відстані у вигляді диференціального сигналу зменшує імовірність їх накладання. Котушки індуктивності L1...L4 та конденсатор C3 дозволяють моделювати вплив довгої лінії на параметри сигналу, вибираючи їх значення. Резистор R4 і конденсатор C2 встановлюють рівень генерації напруги «0» для каскаду на операційному підсилювачі U1B. Компонента постійної напруги на виході мікрофона залежить від напруги живлення та температури навколишнього середовища. Резистор R4 підключений до низькоомного виходу ретранслятора на операційному підсилювачі U1A. Таким чином, елемент, який формує рівень "0" (мікрофон), не перевантажений і працює у звичайному режимі. Сформований рівень "0" через резистор R5 подається на позитивний вхід U1A. Оскільки ретранслятор на операційному підсилювачі U1A повторює напругу, взятую з мікрофона, перевернутий сигнал, який формує операційний підсилювач U1B, буде мати постійну складову, близьку до постійного сигналу компоненти, на виході операційного підсилювача U1A з будь-якими змінами температури і напруги живлення мікрофона. Робота каскаду на U1B стабілізується при постійному струмі.

Один з негативних моментів який потребує усунення – шум. Шум від перешкод (зовнішніх джерел) додається до сигналу в момент його проходження. Відповідно, на вхід підсилювача надходить сигнал, який є сумою шуму і початкового сигналу. Рівень шуму може бути низьким, тому його неможливо почути на тлі сигналу. До сигналу, що надходить на підсилювач диференціального входу до обох

диференціальних сигналів, позитивних і негативних, додається приблизно однаковий шум-сигнал. У цьому випадку диференціальна пара з'єднана з диференціальним підсилювачем, який віднімає фазовий зсувний

сигнал. Після обробки підсилювачем шум послаблюється і рівень корисного сигналу подвоюється, переходячи до нуля.

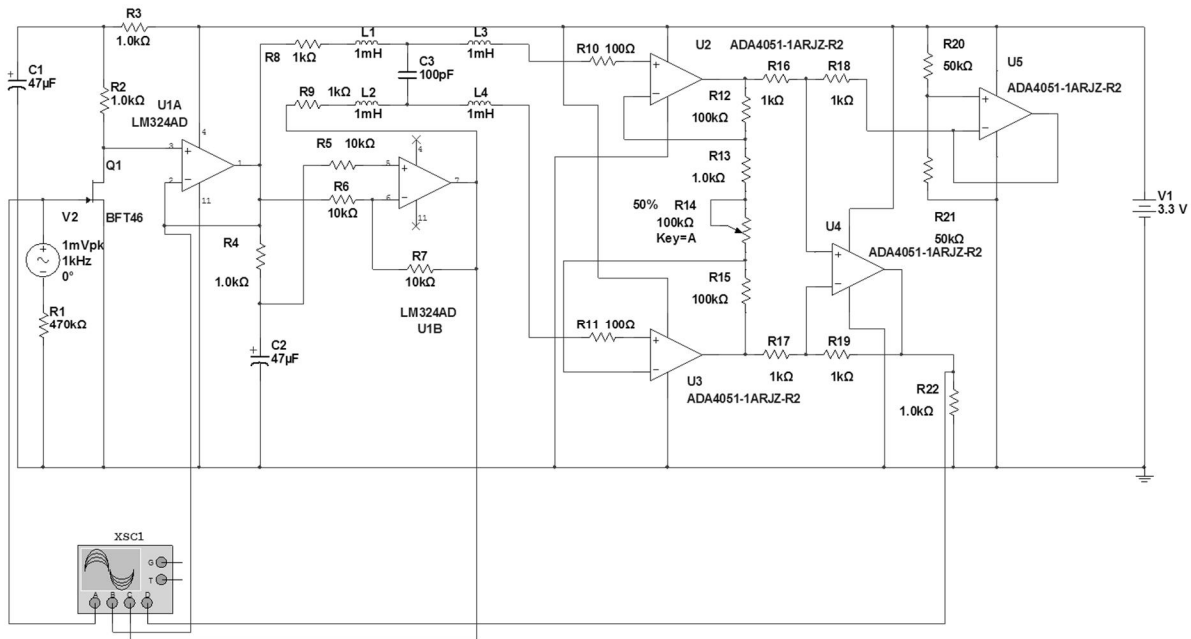


Рис. 4. Моделювання тракту підсилювача мікрофона

Диференціальне підсилення сигналу здійснюється з допомогою операційних підсилювачів U2 ... U4, вхідна частина реалізована на операційних підсилювачах U2 і U3, які входять в режим повторення і забезпечують високий вхідний опір каскаду. Вони також забезпечують посилення всіх вхідних сигналів.

Зосередження всього підсилення на вході диференціальної ланки необхідно для стабілізації "0" всього диференціального підсилювача. Опорна напруга подається на диференціальний підсилювач через резистор R18. Коефіцієнт передачі для вхідної напруги встановлюється рівний одиниці. Використання буфера на U5 ОП з низьким споживанням енергії між дільником напруги R20 та R21 та входом опорної напруги (резистор R18) зменшує вплив опорного дільника напруги на стабільність температури диференціального підсилювача. Низький вихідний опір буферного каскаду на ОП U5 виключає необхідність вибору опорного та проблеми резисторів з різними ТКО, а також дозволяє регулювати опорну напругу диференціального підсилювача. Резистор R22 імітує вхідний опір АЦП.

Було проведено моделювання для перевірки працездатності схеми. Приклад роботи схеми в робочому режимі (зарядний конденсатор C2) наданий на рис. 5.

Перевірка посилення підсилювача мікрофона в залежності від напруги для різних рівнів вихідного сигналу показана на рис. 6 та рис. 7. Максимальний

рівень вихідного сигналу при навантаженні становив 2,6 В, що менше, ніж повний діапазон потужності 3,3 Вт при 0,7 В (рис. 6). Наступні рівні вихідного сигналу ще більше спотворюються (рис. 7). Діапазон вихідної напруги становив 2,9 В, що менше, ніж повна напруга 3,3 В на 0,4 В джерела живлення.

Таким чином, використання операційних підсилювачів (тип AD8603AUJZ Rail-To-Rail) дозволяє відновлювати на навантаження 1 кОм сигнал величиною 2,5 В без спотворень. Однак рівень сигналу буде вище через більший вхідний опір АЦП.

Пристрій містить три канали підсилювачів мікрофона. Для першого каналу через резистор 1 кОм (R1.1) поступає сигнал з електронного мікрофона (Mic1.1).

Операційний підсилювач D1.1a увімкнено ретранслятором з високим вхідним опором, це дає змогу повторно передавати сигнал з мікрофона. Вихід операційного підсилювача D1.1a подається через резистор R1.7 до клеми 2 роз'єму X1.1. Операційний підсилювач D1.1b використовується в ланцюзі інвертора сигналу. Резистори R1.4, R1.6 утворюють ділянку зворотного зв'язку і встановлюють коефіцієнт підсилення на одиницю. Оскільки сигнал, інвертований на операційному підсилювачі D1.1b, то ми на клемі 2, 3 роз'єму X1.1 одержуємо парафазний сигнал, що надходить з мікрофона. Резистор R1.3 і конденсатор C1.3 реалізують блок генерації напруги «0» для каскаду на операційному підсилювачі D1.1b.

Компонент постійної напруги на виході мікрофона залежить від напруги живлення та температури навколишнього середовища [13]. Каскад операційного підсилювача D1.1a використовує його при напрузі

"0". Для каскаду на операційному підсилювачі D1.1b відбувається його формування.

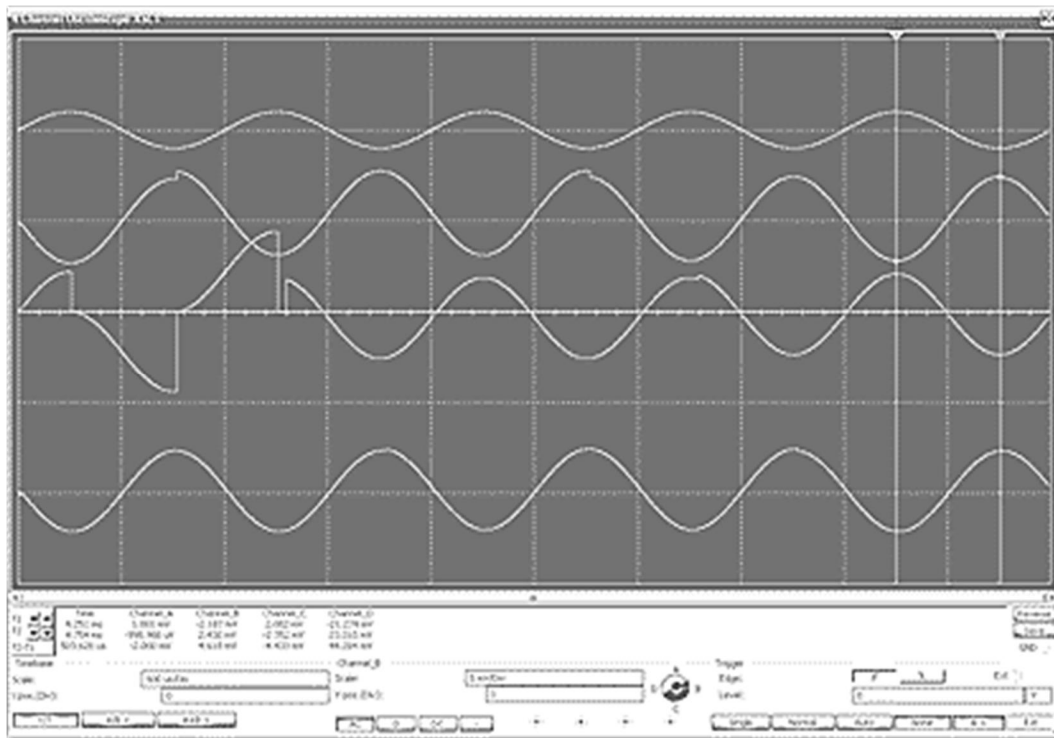


Рис. 5. Результати моделювання в робочому режимі перехідного процесу при включенні

Елементи R1.3, C1.3 утворюють фільтр низьких частот, і постійна напруга забезпечується на конденсаторі C1.3, який забезпечує рівень "0" для каскаду на операційному підсилювачі D1.1b. Резистор R1.3 підключений до низькоомного виходу ретранслятора на операційному підсилювачі D1.1a. Таким чином, елемент, який формує рівень "0" (мікрофон), не перевантажений і працює у звичайному режимі. Згенерований рівень "0" через резистор R1.5 подається на позитивний вхід D1.1b. Оскільки ретранслятор на операційному підсилювачі D1.1a повторює напругу, отриману від мікрофона, інвертований сигнал, що утворює операційний підсилювач D1.1b, буде мати складову, близьку до сигналу постійної складової, на виході операційного підсилювача D1.1a з будь-якими змінами температури та напруги живлення мікрофона. Резистор R1.2 разом з конденсатором C1.1 утворює фільтр напруги для мікрофона. Їх використання зменшує можливість збудження каскаду мікрофона.

Відповідно до рекомендацій виробників, конденсатор C1.2 (0,1 мкФ) повинен бути фізично розташований поблизу ніжки 8 мікросхеми D1.1, що

зменшить збудження мікросхеми D1.1. Конденсатори C1.4 і C1.5 фільтрують джерело живлення всього підсилювача «Вихідний мікрофон 1». Конденсатор C1.4 усуває низькочастотні перешкоди на шляху передачі сигналу. Керамічний конденсатор C1.5 блокує високочастотну компоненту шумів корисного сигналу. У розробленому пристрої сигнал з мікрофона поступає на роз'єм X1.

Фазовий сигнал подається на входи диференціального підсилювача, реалізованого на схемах D2...D4. Сигнал шумів на кабелі буде зменшений підсилювачем, при цьому шум і рівень корисного сигналу послаблюється вдвічі. Операційні підсилювачі D2 і D3 включені в режим ретранслятора і забезпечують високий вхідний опір каскаду. Вони забезпечують посилення вхідного сигналу. Резистори R1 і R2 захищають входи підсилювачів від перенапруги.

При моделюванні з використанням пакета Multisim отримано значення коефіцієнтів підсилення в межах 5...200 для всього тракту підсилювача мікрофона, що повністю відповідає потребам посилення сигналу мікрофона до вхідних рівнів АЦП.

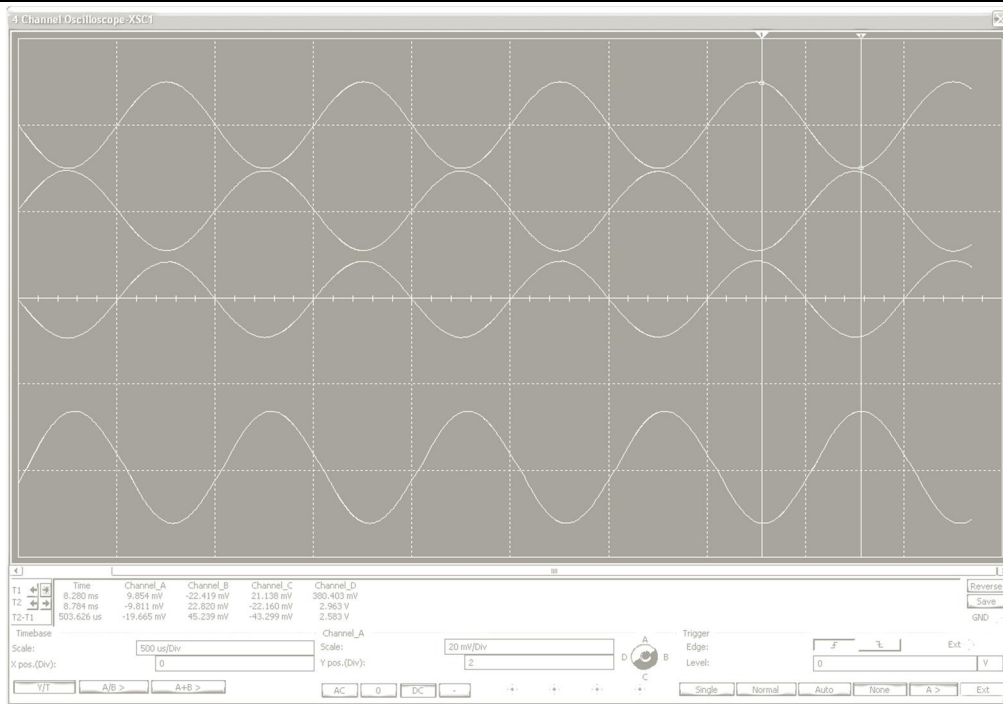


Рис. 6. Повний діапазон сигналу без спотворень

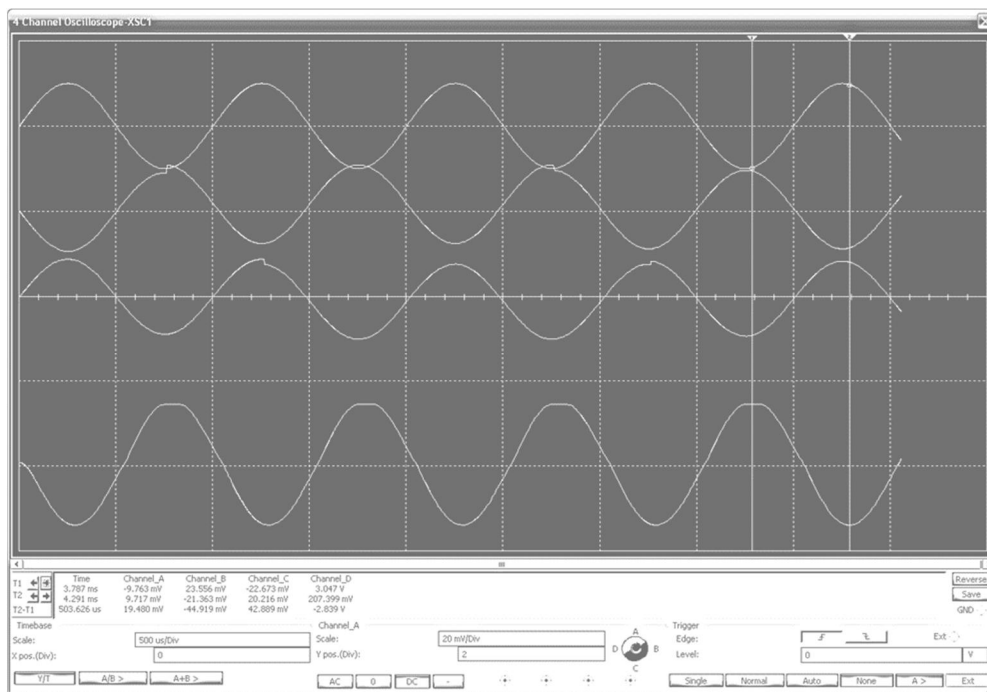


Рис. 7. Рівні вихідного сигналу з наявними спотвореннями

На мікросхемі D4 реалізований вихід диференціального підсилювача. Основне його завдання – перетворити однофазний сигнал в однополярний. Використання буфера на ОП D13 з низьким енергетичним споживанням між дільником напруги R28 та R29 та входом опорної напруги (резистор R9) зменшує вплив опорної напруги дільника на температуру стійкість диференціального підсилювача.

Низький вихідний опір буферного каскаду на ОП D13 виключає необхідність вибору опорних резисторів з різними ТКО, а також дозволяє легко регулювати зміну напругу диференціального підсилювача.

Розроблений пристрій містить три канали мікрофонних підсилювачів, кожен з яких має вхід (X1...X3). Опорна напруга, що генерується ОП D13, подається

в ланцюги всіх трьох каналів підсилювачів мікрофона. З виходів вихідних частин диференціальних мікрофонних підсилювачів посилені сигнали від трьох мікрофонів подаються на входи АЦП для перетворення аналогових сигналів у цифрову форму.

Мікроконтролер STM32F405VG (D16) керує пристроєм і виконує всю необхідну обробку даних. Універсальний MCU має стандартні необхідні периферійні пристрої. Блок синхронізації мікроконтролерів реалізований на кварці Q2 з елементами C30, C31 і R40. Режим роботи універсального MCU встановлюється за допомогою перемикачів J2, J3. Вузол скидання даних реалізується за допомогою кнопки S3 і під'єднаний до логічного блоку резистором R42.

Кнопки S1 і S2 використовуються для управління пристроєм, що дозволяє оператору швидко змінювати програму. Результати роботи пристрою та режиму гонок відображаються світлодіодами RGB VD1 ... VD64 у динамічному режимі відображення.

Мережевий контролер D15 (W5100) має віддалений доступ до розробленого пристрою через Ethernet. Апаратна реалізація стеку протоколів TCP/IP забезпечує швидкість передачі даних до 25 Мбіт/с і забезпечує просте підключення до Інтернету без залучення операційних систем та зовнішніх комп'ютерів. Чип реалізує такі протоколи транспортного, мережевого та зв'язкового шарів OSI (Open System Interconnection): TCP, UDP, IPv4, ICMP, ARP, IGMP і MAC.

Тому пропонується пристрій містить 4 схеми, якими керує мікроконтролер STM32F405VG за допомогою інтерфейсу SPI. Це мікросхеми цифрового потенціометра (D1, D5 та D9) і мікросхеми мережевого контролера D15. Мікроконтролер використовує загальні сигнали SDO, SDI та SCK для обміну даними та командами з мікросхемами, а для дозволу роботи кожної з чотирьох мікросхем мікроконтролер генерує окремі сигнали CS1 ... CS4. Обміном даними повністю керує MCU (Master), а всі інші периферійні пристрої SPI працюють у режимі Slave.

Схема проєктованого пристрою живиться від зовнішньої напруги за допомогою виділеного зарядного пристрою.

Однією з важливих характеристик цього пристрою є його надійність, оскільки ця проблема пов'язана з усіма етапами її створення та використання. Відомо, що продуктивність пристрою або системи оцінюється як добуток ймовірності безвідмовної роботи елементів [14]. Пристрій може перебувати в одному з двох несумісних станів: збій або працездатність.

У нашому випадку розрахунок надійності пристрою за 1 рік із застосуванням номінальних елементів

розраховується при умові роботи протягом 1 року. При розрахунку був використаний номінальний коефіцієнт відмов елементів.

Висновки

Розглянуто проблему розроблення мікропроцесорних пристроїв для визначення напрямку на джерело звуку з підвищеною точністю. Проаналізовані основні розробки провідних закордонних та вітчизняних дослідників щодо аналогічних рішень. Спроектовано мікропроцесорний пристрій для визначення напрямку на джерело звуку з використанням сучасної елементної бази. Детально охарактеризовано структурну та функціональну схеми запропонованого пристрою. Ядром обрано 32-розрядний мікроконтролер STM32, який здійснює всі дії щодо реалізації алгоритмів опрацювання звуку проєктованим пристроєм. Як вхідні сигнали використано електричні коливання в аналоговій формі на виходах трьох мікрофонів. Одержані сигнали підсилюються мікрофонними підсилювачами із програмно керованим коефіцієнтом передачі до номінального рівня роботи АЦП. Використання такого мікрофонного підсилювача звуку із програмно керованим рівнем підсилення дозволило гнучко реагувати на рівень звукового сигналу середовища і підтримувати на вході АЦП номінальний рівень вхідного сигналу. Такий підхід дозволив зменшити як рівень шумів (при малому рівні вхідного сигналу), так і рівень спотворень сигналу (при потужному сигналі).

Розглянуто декілька варіантів алгоритмів обчислення напрямків на джерело звуку. Показано, що на першому етапі алгоритм пошуку кореляції має можливість для кожного із каналів прийому звуків шукати співпадаючі дані із внесеною затримкою. При виявленні таких фрагментів даних буде обчислюватися взаємна затримка надходження звуку у кожному із кільцевих буферів. Після порівняння даних алгоритм зможе однозначно обчислити напрямок на джерело звуку. На другому етапі виділені сигнали перетворюються за допомогою алгоритму ШПФ в спектральне представлення, яке можна трактувати як масив даних, придатних для розпізнавання типу джерела звуку. На третьому етапі відбувається розпізнавання типу джерела звуку. Для цього масив спектральних відліків одержаного сигналу порівнюється із базою типів сигналів. Порівняння відбувається за допомогою алгоритму обчислення взаємної кореляції.

Для перевірки працездатності пристрою проведено моделювання тракту мікрофонного підсилювача у середовищі Multisim, що свідчить про коректність вибраної елементної бази проєктованого пристрою. Запропоновані моделі реалізовані у принциповій

схемі проєктованого пристрою наведення на джерело звуку.

Розрахована надійність схеми та середній час напрацювання пристрою до відмови. Проведені розрахунки свідчать про надійність роботи пристрою упродовж заданого часу.

Таким чином, мікропроцесорний пристрій для визначення напрямку до джерела звуку, розроблений у цій роботі, може бути використаний у військових завданнях із спільним використанням алгоритмів та підходів до визначення напрямку, запропонованих іншими авторами.

Список літератури

1. Ding J., Shi J.Y. Kinect microphone array-based speech and speaker recognition for the exhibition control of humanoid robots. *Computers & Electrical Engineering*. 2017. Vol. 62. pp. 719-729. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.12.010>
2. Piervincenzo R., Bordoni G., Marzani A., Viperman J. Localization of sound sources by means of unidirectional microphones. *Measurement Science and Technology*. 2009. Vol. 20, No 5. pp. 055202. DOI: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/20/5/055202>
3. Isaev A.E., Nikolaenko A.S. Laboratory free-field calibration of a hydroacoustic receiver at low frequencies. *Measurement Techniques*. 2018. Vol. 61(1). pp. 72-78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1390-9>
4. Samosud Z. Bugs detection using acoustic location. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*. 2015. Vol. 21. pp. 263-268. DOI: <https://doi.org/10.18372/2225-5036.21.9689>
5. Trembach B. Method of determining the distance to the source of acoustic signals. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University, Series: Computer Systems and Networks*. 2016. No 857. pp. 102-110. DOI: <https://doi.org/10.23939/csn2016.857.102>
6. Trembach B. Method of spatial identification of acoustic signals source in the two-dimensional hemming space. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University, Series: Computer Systems and Networks*. 2017. No 881. pp. 166-177.
7. Byelozyorov Zh.O. Analysis of the algorithm for calculating the coordinates of the shot and its practical implementation on the basis of mobile device in cooperation with the UAV. *Scientific works. Computer Technology*. 2016. No 287 (275). pp. 34-40.
8. Trembach B., Kochan R. Analysis of the error of measuring the angle of the angle directly on the target distributed by the system of sound artillery reconnaissance. *Measurement Engineering and Metrology*. 2016. No 77. pp. 177-182.
9. Мокроцький М.Ю., Шостак Р.С. Адаптивне планування в інтересах розвитку зразків ракетно-артилерійського озброєння. *Військово-технічний збірник*. 2018. № 19. С. 28-32. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.19.2018.28-32>
10. Kozeruk S.O., Maznichenko D.V. Determining of source's coordinates of shot by mean of acoustic waves.

Electron. Commun. 2017. Vol. 22, No 1. pp. 45-49. DOI: <https://doi.org/10.20535/2312-1807.2017.22.1.79761>

11. Prokopenko V.V. Sources of errors affecting accuracy of firing data acquired for record transfer of fire for effect. *Weapons systems and military equipment*. 2015. No 2. pp. 37-43.

12. Horton M.A., Newton A.R. Method and apparatus for determining position and orientation of a moveable object using accelerometers. U.S. Patent 5,615,132, issued March 25, 1997. URL: <https://patents.google.com/patent/US5615132A/en>

13. Alves R.G., Osorio P.L., Swamy M.N.S., General FFT pruning algorithm. *Proceedings of the 43rd IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems* (Cat. No. CH37144). 2000. Vol. 3. pp. 1192-1195. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWSCAS.2000.951428>

14. Bect J., Ginsbourger D., Li L., Picheny V., Vazquez E. Sequential design of computer experiments for the estimation of a probability of failure. *Statistics and Computing*. 2012. Vol. 22(3). pp. 773-793. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11222-011-9241-4>

References

1. Ding J. and Shi J.Y. (2017), Kinect microphone array-based speech and speaker recognition for the exhibition control of humanoid robots. *Computers & Electrical Engineering*. Vol. 62. pp. 719-729. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.12.010>
2. Piervincenzo R., Bordoni G., Marzani A. and Viperman J. (2009), Localization of sound sources by means of unidirectional microphones. *Measurement Science and Technology*. Vol. 20, No 5. pp. 055202. DOI: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/20/5/055202>
3. Isaev A.E. and Nikolaenko A.S. (2018), Laboratory free-field calibration of a hydroacoustic receiver at low frequencies. *Measurement Techniques*. Vol. 61(1). pp. 72-78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1390-9>
4. Samosud Z. (2015), Bugs detection using acoustic location. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*. Vol. 21. pp. 263-268. DOI: <https://doi.org/10.18372/2225-5036.21.9689>
5. Trembach B. (2016), Method of determining the distance to the source of acoustic signals. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University, Series: Computer Systems and Networks*. No 857. pp. 102-110. DOI: <https://doi.org/10.23939/csn2016.857.102>
6. Trembach B. (2017), Method of spatial identification of acoustic signals source in the two-dimensional hemming space. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University, Series: Computer Systems and Networks*. No 881. pp. 166-177.
7. Byelozyorov Zh.O. (2016), Analysis of the algorithm for calculating the coordinates of the shot and its practical implementation on the basis of mobile device in cooperation with the UAV. *Scientific works. Computer Technology*. No 287 (275). pp. 34-40.
8. Trembach B. and Kochan R. (2016), Analysis of the error of measuring the angle of the angle directly on the target distributed by the system of sound artillery reconnaissance. *Measurement Engineering and Metrology*. No 77. pp. 177-182.
9. Mokrcki M.Y. and Shostak R.S. (2018), Adaptive planning for the development of rocket and artillery weapons. *Military Technical Collection*. No 19. pp. 28-32. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.19.2018.28-32>

10. Kozeruk S.O. and Maznichenko D.V. (2017), Determining of source's coordinates of shot by mean of acoustic waves. *Electron. Commun.* Vol. 22, No 1. pp. 45-49. DOI: <https://doi.org/10.20535/2312-1807.2017.22.1.79761>
11. Prokopenko V.V. (2015), Sources of errors affecting accuracy of firing data acquired for record transfer of fire for effect. *Weapons systems and military equipment.* No 2. pp. 37-43.
12. Horton M.A. and Newton A.R. (1997), Method and apparatus for determining position and orientation of a moveable object using accelerometers. U.S. Patent 5,615,132, issued March 25. URL: <https://patents.google.com/patent/US5615132A/en>
13. Alves R.G., Osorio P.L. and Swamy M.N.S. (2000), General FFT pruning algorithm. *Proceedings of the 43rd IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems* (Cat. No. CH37144). Vol. 3. pp. 1192-1195. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWSCAS.2000.951428>
14. Bect J., Ginsbourger D., Li L., Picheny V. and Vazquez E. (2012), Sequential design of computer experiments for the estimation of a probability of failure. *Statistics and Computing.* Vol. 22 (3). pp. 773-793. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11222-011-9241-4>

MICROPROCESSOR DEVICE DETERMINING DIRECTION OF SOUND TO IMPROVE TECHNICAL EQUIPMENT AT WEAPONRY

I.B. Trach, H.I. Klym, R.V. Diachok, I.D. Karbovnyk

In this work development of an effective microprocessor device for determining the direction of the sound source with high accuracy and algorithm for calculating directions to the sound source were performed. The basis is a 32-bit STM32 microcontroller, which performs the necessary actions for the implementation of sound processing algorithms by the designed device. Electrical oscillations in analog form at the outputs of three microphones were used as input signals. The received signals are amplified by microphone amplifiers with a software-controlled transmission ratio to the nominal level of ADC operation. The use of such microphone sound amplifier with a software-controlled gain level made it possible to respond sensitively to the sound signal level of the environment and maintain the nominal level of the input signal at the ADC input. This approach made it possible to reduce the level of noise (at a low level of the input signal) and the level of signal distortion (at a powerful signal).

The device proposed in the work includes three remote microphones connected by a cable. The microphone amplifiers of each channel are divided into two parts. The first is placed near the microphone and converts the output signal into a differential signal with low internal resistance, the second is placed inside the device itself and converts the differential input signals into a normal form, removing interference of the common type. The amplifiers of the second part of the microphone amplifiers are software controlled, which allows adjustment to the nominal levels required by the ADC inputs. This design uses a built-in MCU ADC, which allows easy conversion of analog signals into digital form and process them according to the necessary algorithms. The obtained results are displayed on the display panel and transmitted over the Ethernet channel for further analysis. The full functioning of the device requires an autonomous power source to provide energy to all nodes.

The developed microprocessor device for determining the direction to the sound source can be used for military purposes with the joint use of algorithms and approaches to determining the direction proposed by other developers.

Key words: microprocessor device, design, direction on sound source, reliability, microphone amplifier.

УДК 358.1; 358:007.35; 534.6

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.45-52>

А.В. Шульгін, О.В. Тимошук, Д.Є. Хаустов, О.О. Бурашніков, Д.В. Вільгуш, Ю.А. Настишин

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

Article history: Received 14 October 2022; Revised 20 October 2022; Accepted 25 October 2022

АНАЛІЗ БАЛІСТИЧНОЇ ЗВУКОВОЇ ХВИЛІ КУЛІ АБО СНАРЯДА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧКИ ВЛУЧЕННЯ В МІШЕНЬ

Створення вітчизняного озброєння та навчального військового обладнання з метою покращення забезпеченості підрозділів та прискорення і підвищення якості підготовки військовослужбовців – завдання, які і раніше були важливими та набули особливої пріоритетності в умовах війни. Дослідження існуючих технологій та методів покращення процесів навчання та ведення бойових дій вказує, що перспективним напрямком у цьому відношенні є аналіз звукового поля для отримання розширеної інформації щодо подій які відбуваються на полі бою чи на місці проведення заняття з вогневої та тактичної підготовки.