

Б.Р. ТРЕМБАЧ, Р.В. КОЧАН  
 Національний університет "Львівська політехніка"  
 Р.Б. ТРЕМБАЧ

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

## МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЖЕРЕЛ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Викладені теоретичні засади та проектні рішення синтезу структури програмно-апаратних засобів розпізнавання просторових параметрів джерел акустичних сигналів. Запропоновані методи оптимізації проектних рішень структури багатоканальних цифрових кореляторів системи акустичної локалізації накопиченої інформації з різним числом приймачів акустичних сигналів. Обґрунтовані переваги застосування багатоканальних структур для обчислення модульної кореляційної функції у порівнянні з мультиплікативною інтегральною оцінкою на основі центрованої функції взаємкореляції.

Ключові слова: кореляція, акустика, програмно-апаратні засоби, сигнал.

B.R. TREMBACH, R.V. KOCHAN  
 National University "Lviv Polytechnic"  
 R.B. TREMBACH

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

## METHODS OF STRUCTURAL DESIGN OPTIMIZATION OF SOFTWARE HARDWARE PROBLEM IDENTIFICATION OF THE SPATIAL PARAMETERS OF ACOUSTIC SIGNALS SOURCES

Theoretical principles and design decisions of the structure software - hardware synthesis identification of the spatial parameters acoustic signal sources have been presented. The methods of the design solutions decision optimization of the multichannel digital correlator structure of the acoustic localization of the accumulated information with different number of the acoustic signal receivers have been proposed. The advantages of multi-use modular structures for calculating of the correlation function compared with the multiplicative integrated estimation based on the centered function of intercorrelation, have been interpreted.

Keywords: correlation, acoustics, software and hardware instruments, signal.

### Вступ

Потужний розвиток сучасної мікроелектроніки підвищує можливість первинного проектування утилітів на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС), які є тиражованими компонентами спецпроцесорів, значно спрощує та підвищує ефективність процесів синтезу проблемно – орієнтованих обчислювальних засобів для вирішення задач статистичного, кореляційного та спектрального опрацювання сигналів. До класу таких задач належить розпізнавання та ідентифікація просторових параметрів джерел акустичних сигналів (ДАС) [1–3].

### Огляд існуючих рішень та постановка задачі досліджень

У роботах [3, 4] викладені принципи та теоретичні засади методу пеленгації та ідентифікації просторового кута пеленгації ДАС на основі двох приймачів акустичних сигналів (ПАС).

На рис. 1. в точках А та В знаходяться звукоприймачі, відстань відрізка АВ називають довжиною акустичної бази. Нехай в точці О знаходиться ціль, що виявила себе звуком пострілу, тоді від неї у всіх напрямках зі швидкістю розповсюдження звуку розповсюджуються акустичні хвилі, які пройшовши шлях S1 реєструються звукоприймачем в точці А, а пройшовши шлях S2 – в В. Тоді справджується співвідношення

$$\begin{cases} S1 = c \times t_1, \\ S2 = c \times t_2, \end{cases} \quad (1)$$

де  $c$  – швидкість розповсюдження звуку у атмосфері,  $t_1$  та  $t_2$  – часи проходження акустичних хвиль відстані  $S1$  та  $S2$  відповідно.

Нехай точка С лежить на відрізку ВО так, що довжина відрізка СО рівна довжині відрізка АО, тобто звук пострілу одночасно реєструється в точках А та С, а точки D та N розташовані таким чином, що довжина відрізків BD та DA рівні (точка D лежить посередині відрізка АВ), а кут NDA є прямим (відрізок DN є нормаллю до відрізка АВ, який в артилерії прийнято називати директрисою акустичної бази). Якщо довжина відрізка АВ значно менша від довжин відрізків АО та ВО то значення кута АСВ прямує до  $90^\circ$  [4]. В такому випадку відрізки ВС та СА – катети прямокутного трикутника АВС, а відрізок ВА – його гіпотенуза. Кут NDO рівний куту САВ і для нього справджується

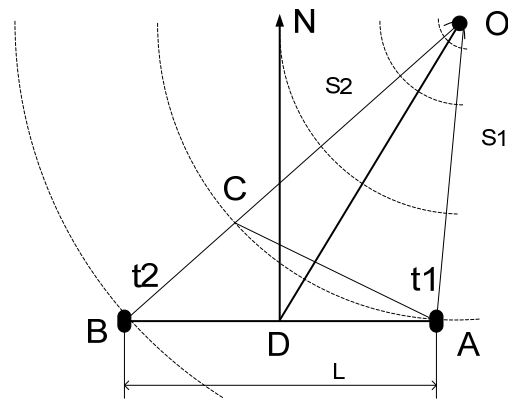


Рис. 1. Схема розташування елементів акустичної бази

$$\sin(CAB) = \sin(NDO) = \frac{BC}{BA} = \frac{(t_2 - t_1) \times C}{BA} = \frac{\Delta t \times C}{L}, \quad (2)$$

де  $\Delta t$  – різниця часу реєстрації звуку пострілу між двома звукоприймачами,  $L$  – довжина акустичної бази.

Таким чином вихідними даними при розрахунку напрямку на ціль є різниця часу реєстрації звуку між двома звукоприймачами, відстань між ними, та орієнтація акустичної бази на місцевості. Для визначення координати цілі необхідно визначити напрямки на ціль із, як мінімум, двох акустичних баз.

Функціональними обмеженнями такого методу є відсутність можливості визначення просторового розміщення ДАС, а також розпізнавання типу ДАС.

У роботі [5] викладено структурне рішення побудови системи акустичної локалізації накопиченої кореляції (ALAC) та теоретичні засади визначення інтегральної оцінки мультиплікативної взаємкореляційної функції на основі аналітичної оцінки:

$$L(q) = G\left(\int_{\tau(i,q)-\frac{w}{2}}^{\tau(i,q)+\frac{w}{2}} x_i(t) \times x_j(t - \tau_{i,q} + \tau_{j,q}) dt\right) + \alpha V_E, \quad (3)$$

де  $q$  – ідентифікатор ДАС;  $G$  – інтегральна функція взаємкореляції;  $x_i(t)$  та  $x_j(t - \tau_{i,q})$  – відповідно поточні та затримані на інтервалі часу  $\pm \tau_{i,q}$  акустичні сигнали (АС);  $\alpha V_E$  – коефіцієнт затухання енергії функції взаємкореляції на інтервалі  $\tau_{i,q}$ .

Обчислення інтегральної оцінки кореляції між сигналами  $x_i(t)$  та  $x_j(t - \tau_{i,q})$  виконується над їх центрованими трендами, як це показано на рис. 2 [5].

Авторами [5, 6] встановлено, що кореляційний метод є найбільш ефективним оскільки забезпечує найвище відношення сигнал/шум.

На рис. 3 показана структура кореляційної системи (ALAC), яка містить чотири приймачі АС, пари виходів яких з'єднані з відповідними входами шести кореляторів, виходи яких з'єднані з входами відповідних накоплюючих помножувачів-суматорів, виходи яких є виходами азимуту та віддалі до ДАС.

Необхідність застосування у системі ALAC шести взаємкореляторів обумовлена симетричністю кореляційної матриці:

$$\begin{matrix} 1 & R_{12} & R_{13} & R_{14} \\ - & 1 & R_{23} & R_{24} \\ - & - & 1 & R_{34} \\ - & - & - & 1 \end{matrix}$$

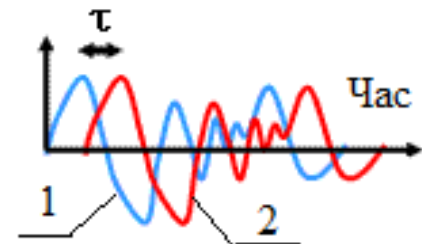


Рис. 2. Кореляційна взаємодія центрованих трендів сигналів 1 –  $x_i(t)$ ; 2 –  $x_j(t - \tau_{i,q})$

Очевидно, що при мінімальній кількості ПАС, необхідній для ідентифікації азимуту та віддалі до ДАС, рівній трьом, необхідне число кореляторів буде рівне трьом, а для двох ПАС – відповідно один.

Таким чином аналіз існуючих методів опрацювання АС на прикладі структури кореляційної системи ALAC показує, що при заданій кількості ПАС згідно з наведеною матрицею, число взаємкореляторів практично зростає квадратично.

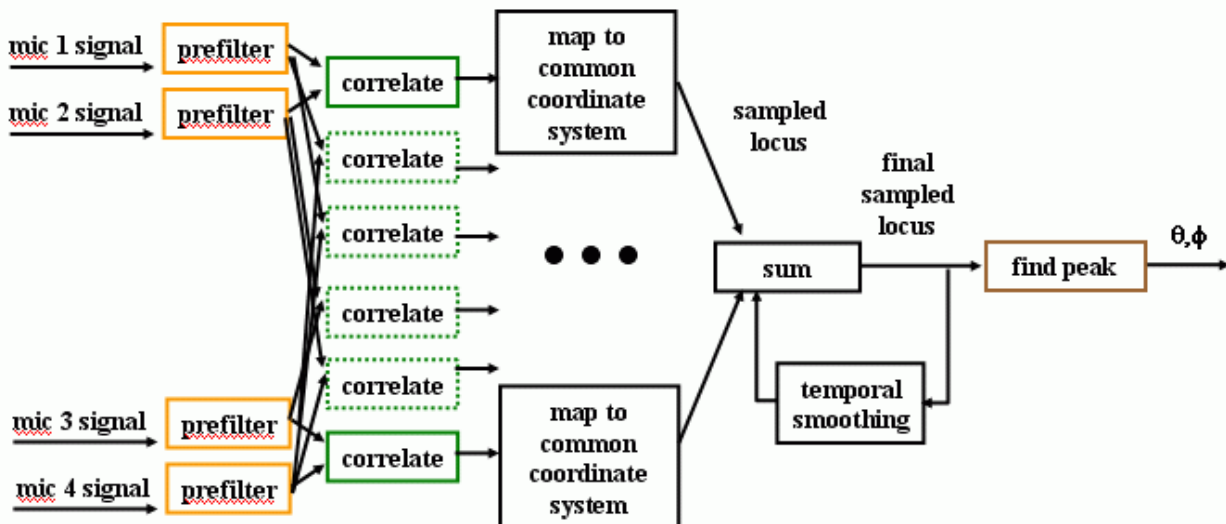


Рис. 3. Структура кореляційної системи просторової ідентифікації ДАС

Зменшення кількості кореляторів для реалізації моніторингу та визначення азимуту та віддалі до ДАС є актуальною науково-прикладною задачею.

**1 Методи оптимізації структурних рішень засобів кореляційного моніторингу та ідентифікації просторових параметрів АС**

**1.1 Структура багатоканального цифрового корелятора (БЦК) при хаотичному просторовому розміщенні ДАС і ПАС**

Розглянемо приклад для  $q = 3$  ПАС і багатьох ДАС показаний на рис.4. При хаотичному розміщенні ПАС по відношенню до ДАС структура багатоканального корелятора відповідає принципам побудови АЛАС (рис. 5)

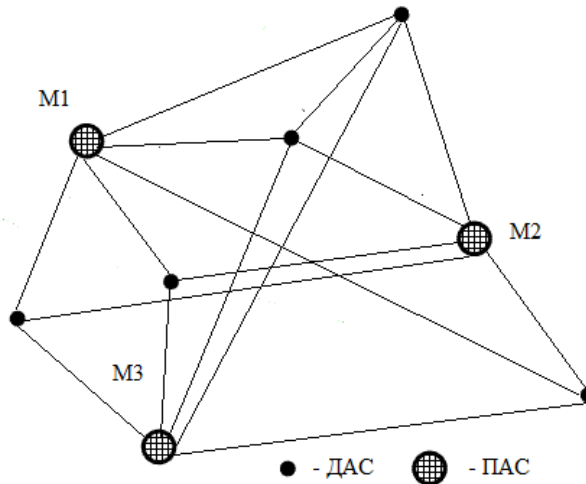


Рис. 4. Приклад хаотичного просторового розміщення ДАС і ПАС

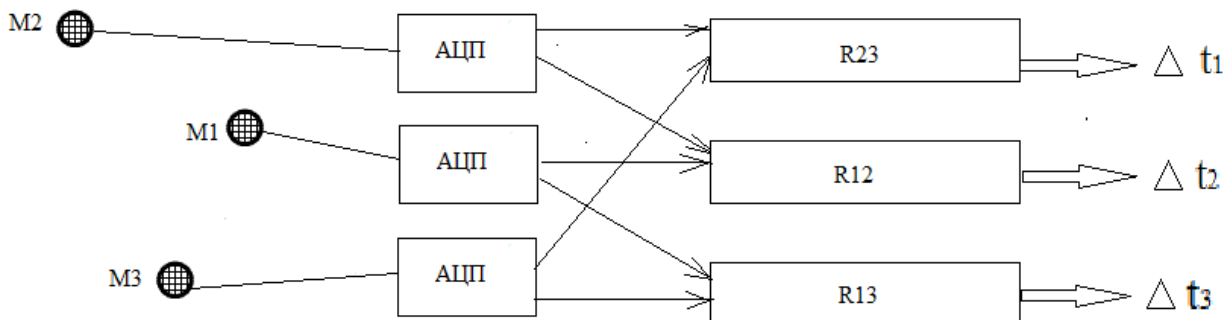


Рис. 5. Структура кореляційної системи опрацювання АС при хаотичному просторовому розташуванні ДАС і ПАС

**1.2 Структура БЦК при розмежованому просторовому розташуванні ДАС і ПАС**

В окремому випадку існує розмежування розташування ДАС і ПАС, приклад якого показаний на рис. 6. При хаотичному просторовому розміщенні ПАС за границю смуги розміщування число необхідних кореляторів як і в попередньому випадку рівне трьом.

Причому для надійної ідентифікації певного типу ДАС в обох випадках після АЦП необхідно розмістити керований узгоджений цифровий фільтр, що адаптований до певного ДАС, наприклад артилерії певного калібру, міномета, стрілецької зброї та ін. У цьому випадку структура кореляційної системи отримує вид, показаний на рис. 7.

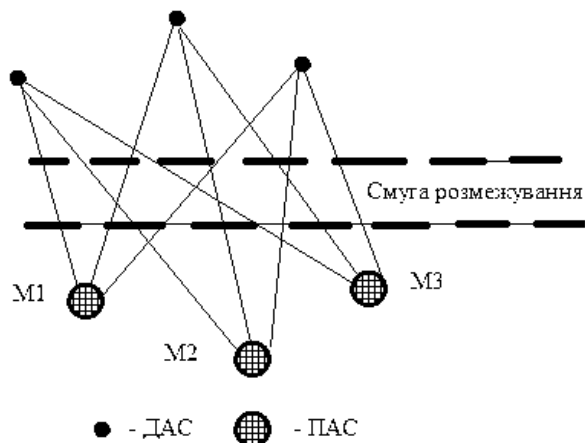


Рис. 6. Приклад розмежованого просторового розміщення ДАС і ПАС

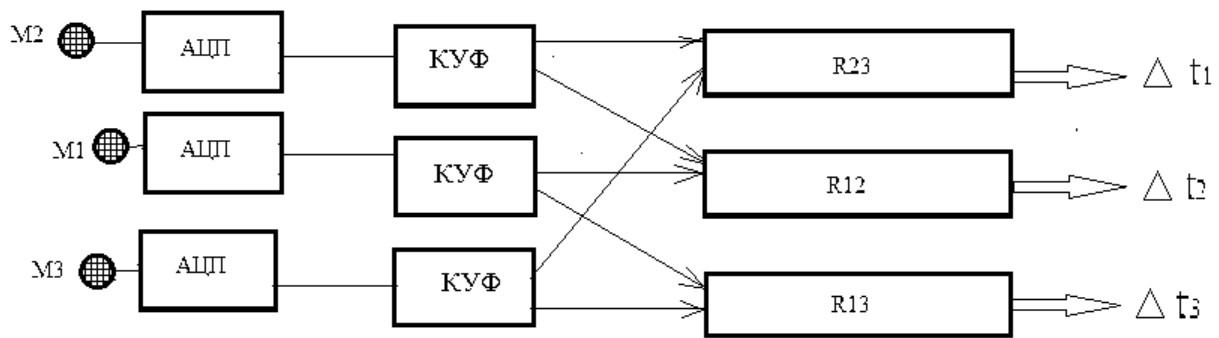


Рис. 7. Структура БЦК оснащеного КУФ

## 2 Оптимізація аналітики обчислення кореляційної функції БЦК

Програмно-апаратна реалізація аналітичного виразу визначення інтегральної оцінки кореляції згідно виразу (3) є недостатньо ефективним при створенні засобів розпізнавання та ідентифікації просторового розміщення ДАС оскільки алгоритм обчислення мультиплікативної кореляції потребує центрування сигналів  $x_i(t)$  та  $x_j(t)$ , а також виконання їх перемноження та накопичення з врахуванням знаків  $\pm$ . Ці фактори суттєво ускладнюють структуру апаратної реалізації та знижують швидкодію кореляційних обчислень. Крім того, як показано в роботі [7], мультиплікативна корекція оцифрованих значень АС характеризується низькою інформативністю, оскільки за наявності нульових значень у центрованих кодах  $x_i$  та  $x_j$  з  $n$ -розрядної вибірки більше 30–40% добутків є нульовими, що значно знижує інформативність мультиплікативного корелятора по відношенню до, наприклад, структурного та модульного згідно з виразами (4) та (5) [8].

$$C_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+j})^2; \quad (4)$$

$$G_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x_{i+j}|. \quad (5)$$

Аналіз аналітичних виразів структурної (4) і модульної (5) кореляційних функцій показує, що остання характеризується значно простішим алгоритмом обчислення по відношенню до виразів (3) та (4), що визначає перспективність та ефективність застосування модульної кореляції для реалізації БЦК.

## Висновки

Викладений аналіз існуючих систем розпізнавання та ідентифікації просторового розміщення ДАС і ПАС дозволяє встановити, що застосування мультиплікативної кореляції та хаотичного просторового розміщення ДАС та ПАС є недостатньо ефективним при проектуванні програмно-апаратних засобів спецпроцесорів на ПЛІС. Запропонована структура багатоканального цифрового корелятора з пріоритетним просторовим розміщенням мікрофонів ПАС за смугою розмежованості з ДНС та застосування модульної функції кореляції для опрацювання акустичних сигналів дозволяє спростити алгоритм обчислень.

## Література

1. Інновації для армії. Система для артилеристів ГІС "Арта" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://life.pravda.com.ua/technology/2015/06/2/194846/>
2. ГІС «Арта» – незамінна допомога артиллеристу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://arta.center/#ua>.
3. Кривошеев А.М. Основи артилерійської розвідки : навч. посібник / А.М. Кривошеев, В.М. Петренко, А.І. Приходько. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 393 с.
4. Кочан Р.В. Концепція розподіленої автоматичної системи звукової артилерійської розвідки на базі стільникового зв'язку / Р.В. Кочан, Б.Р. Трембач, Р. Б. Трембач // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 2 (235). – С. 101–104.
5. S. T. Birchfield and D. K. Gillmor. Acoustic Localization by Accumulated Correlation. Original. URL: <http://www.ces.clemson.edu/~stb/research/acousticloc/>
6. S. T. Birchfield. A Unifying Framework for Acoustic Localization, Proceedings of the 12th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). – Vienna, Austria, 2004.
7. Албанський І.Б. Спецпроцесори кореляційної обробки сигналів / І.Б. Албанський, Т.О. Заведюк // Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXV) : міжнар. симпозіум : праці. – К., 2009. – Т. 1. – С. 8–13.
8. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації : монографія / Я.М. Николайчук. – Тернопіль : ТНЕУ, 2008. – 536 с.