

# Метод та аналого-цифрові засоби пасивного акустичного сканування внутрішніх органів ЛЮДИНИ

Леонід Крупельницький, Сергій Грабчак, Анна Фігас  
кафедра обчислювальної техніки,  
Вінницький національний технічний університет  
Вінниця, Україна  
krupost@gmail.com

## Method and analog-digital facilities of passive acoustic scan-out of internalss of man

Leonid Krapunnytsky, Sergii Grabchak, Anna Figas  
Department of Computer Technique  
Vinnytsia National Technical University  
Vinnytsia, Ukraine,  
krupost@gmail.com

*Анотація – Розглянута можливість знімання й опрацювання звукових сигналів діяльності внутрішніх органів людини. Запропоновано метод пасивного акустичного сканування за рахунок застосування багатоканальної вимірювальної системи. Показано, що ефективність методу визначається роздільною здатністю та точністю розробленої аналого-цифрової системи, що самокоригується. Біомедичні сигнали через бездротовий інтерфейс передаються на мобільні пристрої, а також можуть опрацюватися мережевими медичними експертними системами.*

*Anotation - Considered possibility of output and working of acoustical signals of activity of internalss of man. The method of passive acoustic scan-out is offered due to application of the multichannel measuring system. It is shown that efficiency of method is determined by a discriminability and exactness of the worked out analog-digital system, that self corrected. Biomedical signals through a wireless interface are passed on mobile devices, and also can be worked over by network medical consulting models.*

*Ключові слова—аналого-цифрова система; АЦП; біомедичні сигнали; методи медичної діагностики; фазована мікрофонна решітка*

*Keywords— analog-digital system; ADC, biomedical signals; methods of medical diagnostics; phased microphone array*

### I. ВСТУП

Сучасні дослідження внутрішніх органів людини з візуалізацією їх результатів проводяться, як правило, методами рентгенівської комп'ютерної томографії, магнітно-резонансної томографії, ультразвукової діагностики. Відповідні засоби

діагностування є доступними тільки в стаціонарних умовах та, через свій активний вплив на організм пацієнта, - не можуть застосовуватись досить часто чи неперервно протягом тривалого часу. Традиційні методи аускультатії [1] для оцінювання стану людини за допомогою вислуховування фонендоскопом звуків серця, легенів чи кішківника - орієнтовані більше на практичний досвід лікарів і також носять епізодичний характер.

### II. ОПИС МЕТОДУ

Для діагностики та лікування різних захворювань є актуальною можливість довготривалої фіксації та безперервного аналізу слабких акустичних сигналів від внутрішніх органів людини. Прикладами таких сигналів є акустична активність перистальтики кишківника, легеневого дихання чи акустична зміна ритмів серця, які бажано спостерігати протягом доби чи більш тривалого часу. Проте, навіть сьогодні, фіксація і виділення вказаних сигналів є непростою технічною задачею через значний рівень зовнішніх і внутрішніх завад, що супроводжують звичну діяльність людини.

Одним із рішень вказаної проблеми є розробка і застосування сучасних аналого-цифрових систем (АЦ-систем) з чутливими акустичними сенсорами та високорозрядними аналого-цифровими перетворювачами (АЦП), що сполучені бездротовими інтерфейсами з мобільними пристроями накопичення, зберігання, опрацювання та передавання даних. В свою чергу, ці мобільні

пристрої (смартфони, планшети, нетбуки) можуть оперативно обмінюватись даними діагностування зі спеціалізованими мережевими медичними експертними системами.

Першою постає задача виділення акустичних сигналів від окремих внутрішніх органів людини. Рішення цієї задачі можливе при застосуванні багатоканальних АЦ-систем з групою акустичних сенсорів (мікрофонів), розміщених на тілі людини-пацієнта. В цьому випадку метод цифрової обробки акустичних сигналів може бути побудований аналогічно методу «загальної глибинної точки», що ефективно застосовується у сейсморозвідці корисних копалин [ 2 ]. Однак, на відміну від відомого методу, потрібно корективи, пов'язані з відсутністю джерела зовнішнього збуджуючого сигналу та з нелінійними й нечіткими координатами розміщення сенсорів сигналів.

Пропонований метод пасивного акустичного сканування за допомогою біомедичної АЦ-системи пояснює рисунок, на якому наведено:

- точкове джерело А корисного звукового сигналу, який необхідно виділити при поточному скануванні внутрішніх органів пацієнта;

- точкове джерело В сигналу, який при поточному скануванні є завадою, але буде корисним сигналом в одному з наступних сканувань;

- чотири акустичних сенсори s1-s4 на основі мікрофонів і фонендоскопів, встановлених на тілі пацієнта;

- вимірювальна АЦ-система, що містить на входах підсилювачі напруг, фільтри, високорозрядні АЦП, процесор та бездротовий інтерфейс;

- мобільний пристрій опрацювання сигналів з виходом в локальну чи глобальну мережу для передавання даних лікарю чи для підключення до спеціалізованої медичної експертної системи .

Також на рисунку суцільними стрілками показано розповсюдження корисного сигналу від точкового джерела А на сенсори s1-s4 з відповідними затримками часу t1-t4, а пунктирними стрілками – розповсюдження сигналу завади від точкового джерела В.

При скануванні внутрішніх органів пацієнта переріз по лінії встановлення акустичних сенсорів умовно ділиться на дискретні точки сіткою з горизонтальних та вертикальних координат. Для кожної з точок сітки результати вимірювань сигналів повинні бути оброблені з урахуванням відповідних затримок часу, які визначаються геометричними відстанями між координатами точок та міццями закріплення сенсорів.

Так для системи з чотирьох сенсорів, після отримання окремих масивів сигналів C1 (t), C2 (t), C3 (t), C4 (t) для кожної внутрішньої точки А повинен розраховуватись сумарний сигнал:

$$SA(t) = C1(t-t1) + C2(t-t2) + C3(t-t3) + C4(t-t4).$$

При цьому, для джерела звуку, розміщеного в точці А, сигнали будуть складатись в одній фазі і будуть підсилюватись. Для інших точок (наприклад, точка В на рисунку) фази сигналів будуть різними, що зменшуватиме сумарну амплітуду.

Роздільна здатність виділення сигналів покращується в разі збільшення числа вимірювальних каналів. Крім того, може бути введена вагова віконна функція a(i) для кожного i-го сигналу, що сфокусує діаграму направленості наявної мікрофонної решітки [2]. При N вимірювальних каналах для джерела А сумарний масив сигналу буде отриманим за таким співвідношенням:

$$SA(t) = \sum_{i=1}^N a(i) * Ci(t - ti).$$

Подальша цифрова обробка сигналів для кожної координати передбачає цифрову фільтрацію зовнішніх завад та виділення корисних складових сигналу за його спектральними чи кореляційними характеристиками .

Слід зазначити, що нечіткі координати акустичних сенсорів на тілі пацієнта в процесі довготривалого накопичення сигналів знижують роздільну здатність сканування. Однак, ця проблема може бути частково вирішена шляхом періодичного калібрування від окремого джерела тестового акустичного сигналу, встановленого з іншого боку тіла пацієнта (на рисунку не показано).

### III. РЕАЛІЗАЦІЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Визначальним для отримання якісних результатів сканування є роздільна здатність, лінійність, ідентичність амплітудно- та фазочастотних характеристик вимірювальних каналів АЦ-системи. Таку АЦ-систему для обробки біомедичних сигналів вдалося створити з використанням сучасної елементної бази та методів покращення статичних та динамічних параметрів за рахунок самокорекції [3-5].

Розроблена авторами 4-канальна АЦ-система SADS-4 має такі основні параметри :

- кількість вимірювальних каналів – 4;
- розрядність вихідного двійкового коду АЦП – 24;
- діапазон робочих частот - (1...10000) Гц;
- динамічний діапазон – не менше 120 дБ;
- нелінійні спотворення – не більше 0,005 %;
- нерівномірність і неідентичність АЧХ /ФЧХ каналів – не більше 0,03 ЛБ/0,1°;
- конструктивне виконання – переносний модуль розмірами (135 x 135 x 36) мм, вагою 350 грам;
- інтерфейси - Bluetooth, USB.

Приймання сигналів, їх попередню обробку та пересилання для подальшого накопичення й опрацювання виконує спеціалізоване програмне забезпечення мобільного пристрою, що сполучається з АЦ-системою SADS-4 по бездротовому інтерфейсу Bluetooth.

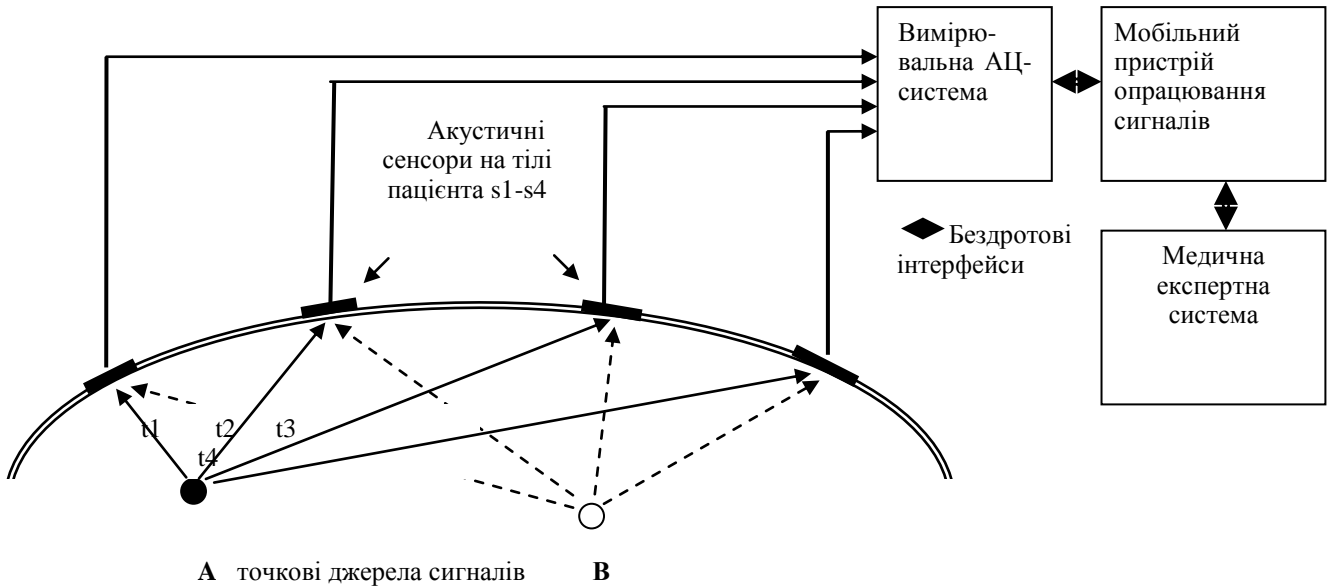


Рисунок - Схема опрацювання сигналів в біомедичній АЦ-системі пасивної акустичної локації внутрішніх органів людини

Розроблена біомедична аналого-цифрова система, що самокоригується є універсальною, передбачає підключення пасивних і активних акустичних чи оптичних сенсорів, а її конфігурацію можна змінювати для інших застосувань. На даному етапі дослідний зразок системи проходить клінічні випробування, в тому числі - і в режимі акустичного сканування внутрішніх органів людини

#### IV. ВИСНОВКИ

Показана можливість створення методу пасивного акустичного сканування внутрішніх органів людини шляхом довготривалого багатоканального вимірювання і опрацювання сигналів аналогічно до методів, прийнятих у сейсморозвідці.

Запропоновано схему вимірювань та основне розрахункове співвідношення для виділення корисних сигналів точкових джерел за рахунок зваженого поканального підсумовування відліків сигналів із врахуванням часових затримок звуків в тілі пацієнта.

Розглянуто особливості технічної реалізації запропонованого методу при застосуванні розробленої високоточної аналого-цифрової системи, що самокоригується та наведено основні параметри дослідного зразка системи.

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Кукуес В.Г., Маринин В.Ф., Реуцкий И.А., Сивков С.И. Врачебные методы диагностики. — М.: Гэотар-Медиа, 2006. — 720 с.
- [2] Мешбей В.И. Сейсморазведка методом общей глубинной точки. М.: «Недра», 1973. - 152 с.
- [3] Крупельницький Л.В. Азаров О. Д. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів : монографія / Під заг. ред. О.Д. Азарова,- УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.- 167 с.
- [4] Крупельницький Л.В. Характеристики і структури багатоканальних АЦ-систем, що самокоригуються для аналізу аудіо сигналів / Л.В.Крупельницький // Тези доповідей П'ятої Міжнародної науково-практичної конференції "Методи та засоби кодування, захисту й уцілювання інформації". Україна, Вінниця, 19-21 квітня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С.129-133.
- [5] AD systems for processing of low frequency signals based on self calibrate ADC and DAC with weight redundancy. Azarov, O. D., Krupelnitskiy, L. V., ... *Przegląd Elektrotechniczny*, - 2017, - Volume R. 93, nr 5, - pp. 125-128 - DOI 10.15199/48.2017.05.26