

Автоматизований аналіз довільних ділянок фонокардіограм в середовищі Labview

Дмитро Кухаренко¹, Олексій Юрко¹, Денис Тимченко¹

¹ Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА, Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: dkuch100@gmail.com

Анотація: Однією з головних причин високої смертності в розвинених країнах є захворювання серцево-судинної системи. Зростання кількості людей в середньому і літньому віці із захворюваннями серця – важлива проблема в сучасній охороні здоров'я [1]. Поширеність серцево-судинних захворювань продовжує зростати, що зумовлює необхідність розробки більш ефективних сучасних засобів їх діагностики та лікування. На особливу увагу заслуговує метод фонокардіографії в плані простоти апаратної реалізації, неінвазивності та безпечності.

Сучасні медичні діагностичні системи дають змогу здійснювати опрацювання фонокардіосигналу (ФКС) з допомогою електронно-обчислювальної техніки, напівавтоматичне обчислення його показників, формування попереднього медичного висновку. Однак, для тестування методів опрацювання, що лежать в основі побудови програмного забезпечення таких діагностичних систем, оцінювання достовірності результатів опрацювання ФКС цими методами, необхідно розробити імітаційну модель такого класу біосигналів, яка б враховувала у своїй структурі основні параметри медичної норми та патології стану серця. Тому розробка моделі є актуальною задачею.

Метою роботи є розроблення імітаційної моделі ФКС, яка б давала можливість забезпечити параметричну ідентифікацію методу опрацювання з достовірним відтворенням даних.

Ключові слова: фонокардіосигнал, середовище Labview, імітаційна модель, серцево-судинні захворювання.

I. ВСТУП

Мета даної роботи полягає в удосконаленні методів обробки акустичного кардіосигналу з використанням імітаційної моделі акустичного кардіосигналу, що дозволить підійти до лікування кожного хворого індивідуально та виявити порушення серцево-судинної системи на ранніх стадіях захворювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз відомих математичних описів акустичного кардіосигналу та методів його подальшої обробки для обґрунтування напрямку наукового дослідження;
- провести відновлення кардіоциклу за даними, отриманими в результаті обстеження пацієнтів методом фонокардіографії;
- розробити метод опису огинаючої основних тонів фонокардіосигналу;
- реалізувати віртуальний прилад для обробки акустичного кардіосигналу з виділенням огинаючої основних тонів та можливістю подальшого діагностування патологій серцево-судинної системи людини.

Об'єкт дослідження – акустичні явища, що генерує серце при своїй роботі.

Предметом досліджень є процес обробки акустичного кардіосигналу.

Методи дослідження. Вирішення поставлених у роботі задач було досягнуте шляхом аналізу й узагальнення теоретичних досягнень в кардіології, застосуванням спектральних методів аналізу акустичного кардіосигналу і дослідженням математичних залежностей отриманих сигналів з використанням прикладних математичних пакетів обробки отриманих результатів.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- удосконалено спосіб знаходження першого тону шляхом обґрунтування раціональної ширини вікна при динамічному розрахунку енергії сигналу фонокардіограми, що підвищує достовірність розпізнавання фонокардіограми при автоматичному аналізі;

- набув подальшого розвитку метод математичного опису огинаючої основних тонів фонокардіосигналу у вигляді несиметричних гаусових імпульсів для усереднених кардіоциклів для подальшого використання отриманих коефіцієнтів у діагностичних цілях.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- для практичної медицини запропоновано діагностування захворювань серця на основі визначення коефіцієнтів апроксимації огинаючої фонокардіосигналу усереднених кардіоциклів;

- реалізовано віртуальний прилад в середовищі Labview для автоматичного аналізу довільних ділянок фонокардіограм з визначенням параметрів апроксимації несиметричними гаусовими імпульсами для подальшого використання для діагностики серцево-судинних захворювань.

II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відновлення та сегментація кардіосигналу. Для виділення першого тону серцевого циклу та подальшої сегментації фонокардіосигналу використовувався метод виділення та аналізу кардіоінтервалограм без паралельної реєстрації ЕКГ, що дозволяє аналізувати динамічні характеристики ритму серця. КІГ є графік залежності тривалості RR інтервалів. Суть алгоритму побудови кардіоінтервалограмми і полягає в використанні інформації про зміну значення енергії сигналу в частотних інтервалах фонокардіосигналу.

Енергія сигналу E , що характеризує форму часової локалізації звуків серця та серцевих шумів, розраховується в ковзаючому вікні. За максимальними значеннями енергії визначаються пікові значення першого тону $S1$ [2].

$$E(t_0, \Delta t) = \int_{t_0 - \frac{T}{2}}^{t_0 + \frac{T}{2}} p(t) dt = \int_{t_0 - \frac{T}{2}}^{t_0 + \frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt$$

Оскільки вхідні дані є дискретними відліками, то інтеграл можна замінити на суму площин елементарних прямокутників, що утворюються амплітудою відліку з основою, що дорівнює інтервалу дискретизації Δt .

Ширину вікна будемо задавати кількістю відліків N . Енергію сигналу m -го відліку розраховують відносно центрального відліку m в межах заданого вікна. При цьому враховуються відліки сигналу в інтервалі $[m-N/2, m+N/2]$:

$$E_m = \sum_{k=m-\frac{N}{2}}^{m+\frac{N}{2}} (X_k)^2 \Delta t$$

Наступне значення відліку енергії сигналу знаходяться шляхом зсуву вікна на один відлік. На рис. 1 зображено суміщені сигнали ФКГ та декілька енергетичних графіків, розрахованих за різною шириною вікна: $N = 30$, 60 та 180 відліків. Більш детально розглянемо одну з ділянок, що відповідає першому тону $S1$ (рис. 2). З рисунка видно, що максимуми енергії мають значний розкид Δ_i відносно піку першого тону $S1$. Причому при збільшенні ширини вікна вершина енергетичної кривої стає більш плоскою, що ускладнює знаходження пікового значення $S1$.

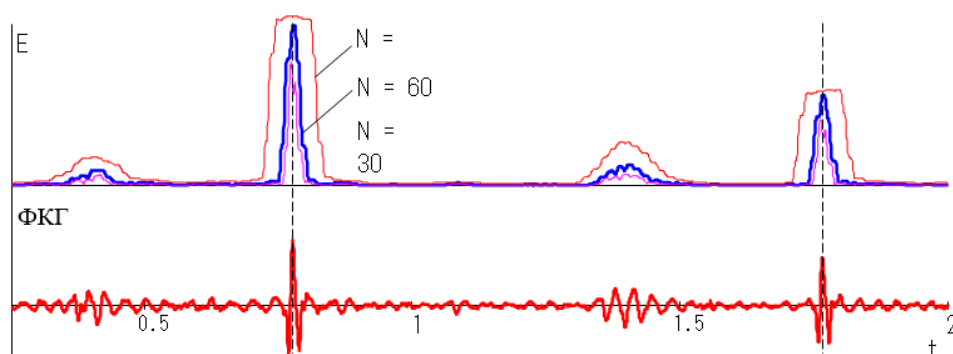


Рисунок 1 – Ділянка фонокардіограми, що відповідає першому тону $S1$

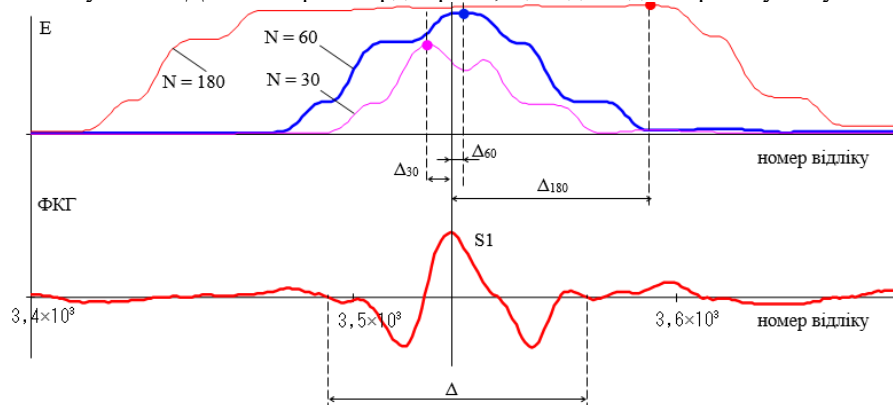


Рисунок 2 – Ділянка фонокардіограми, яка має максимуми енергії і значний розкид Δ_i відносно піку першого тону $S1$

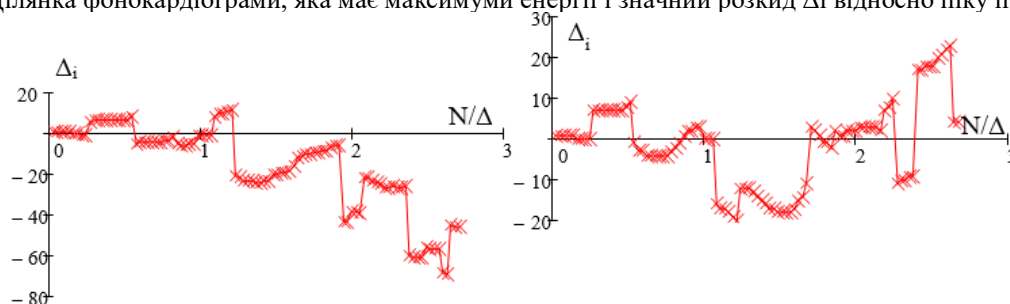


Рисунок 3 – Графіки відхилень для двох різних тонів

Для оцінки розкиду абсолютного відхилення Δ_i максимуму енергії при зміні ширини вікна від 0 до 200 на рисунку 3 показані графіки відхилень для двох різних тонів $S1$, де на осі абсцис відкладено відносно

ширину вікна: N/Δ , де Δ – ширина першого тону, окремо виділеного для конкретного розрахунку.

Аналізуючи графічні залежності, можна зробити висновок, що найбільш прийнятне найменше

відхилення максимальних значень енергії від пікових значень S_1 спостерігається при ширині вікна співрозмірним з шириною першого тону, окремо виділеного для конкретного розрахунку.

В обраному вікні проводиться пошук максимального значення енергії сигналу, що відповідає першому тону S_1 . Вікно пересувається по всьому сигналу від початку до кінця для знаходження максимальних значень, що містять інформацію про розташування першого тону S_1 в кожному з кардіоінтервалів. На відміну від граничних методів, дана процедура дозволяє виключити попадання випадкових екстремумів в S-S інтервалограму. На основі отриманих значень піків першого тону S_1 обчислюється кардіоінтервалограма, як різниця їх моментів локалізації для сусідніх кардіоциклів (SS-інтервалограма).

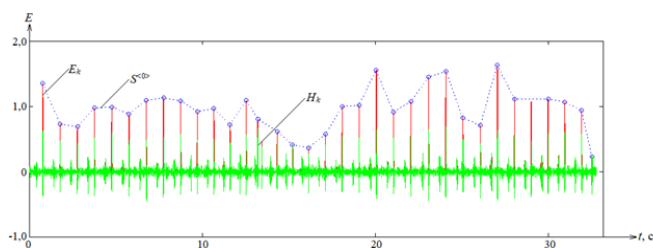


Рисунок 4 – Графік розподілу енергії з урахуванням матриці SS інтервалів

Для подальшого дослідження кардіосигналу проведено його сегментування на відносні кардіоцикли, границями яких будуть максимуми перших тонів. Графік порівняння кардіоциклів наведений на рис. 5.

Як видно з рис. 5, через те, що кожен кардіоцикл серцевого ритму має свою тривалість, то присутності розбіжності на кінцевих межах тонів і потрібно провести їх усереднення.

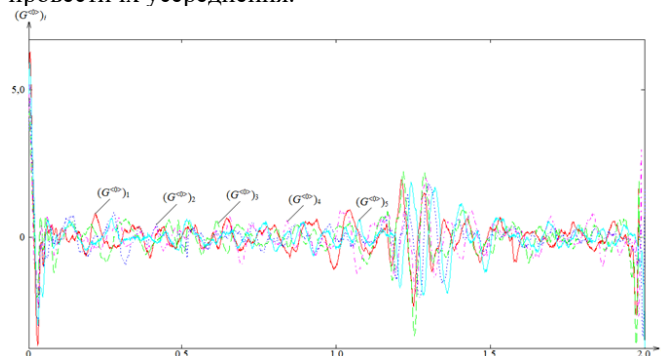


Рисунок 5 – Графік порівняння кардіоциклів

На рис. 6 наведено графік усереднення декількох кардіоциклів $B(m)$. Як видно з графіку, після процедури усереднення сигналу сегментованого на кардіоцикли, частини, що відповідають I та II тону серця, співпали. На відміну від тонів кардіоциклу в місцях систолічної та діастолічної пауз у сигналі присутній шум, який не залежить від розподілення та має хаотичний характер.

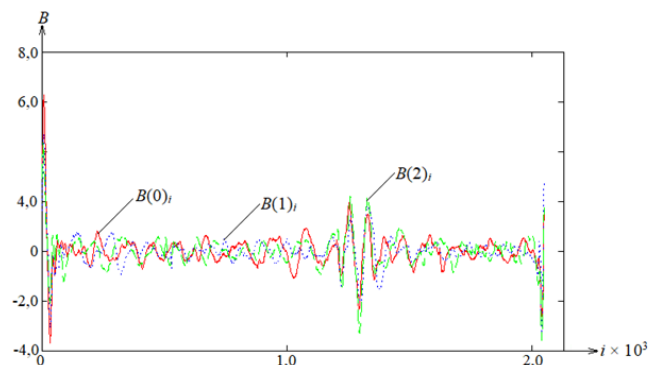


Рисунок 6 – Графік усереднення декількох кардіоциклів

Для того щоб зменшити розбіжності між кардіоциклами та зменшити наявність шуму, було знайдено суму декількох реалізацій для виділення усередненого кардіоциклу (рис. 7).

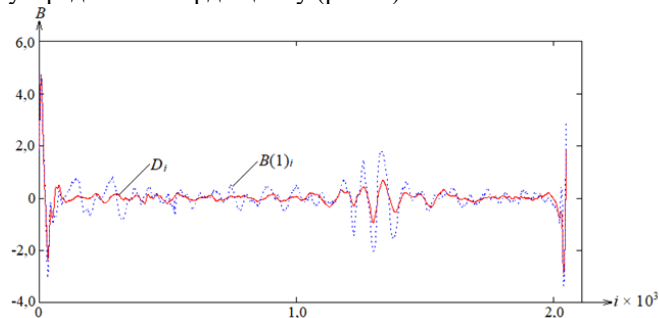


Рисунок 7 – Графік порівняння усередненого кардіоциклу з першим відносним $B(1)$

III. ВИСНОВКИ

проведено аналіз відомих математичних описів акустичного кардіосигналу та методів його подальшої обробки, за результатами якого встановлено, що при створенні імітаційної моделі фонокардіосигналу є проблеми зі збереженням діагностично-важливих ділянок, які мають використовуватись при автоматизованій обробці фонокардіосигналу для встановлення діагнозу.

– запропоновано використовувати для аналізу усереднений відносний кардіоцикл, для зменшення рівня неінформативних випадкових складових шуму фонокардіограм та виділення основних тонів акустичного кардіосигналу. Отримані результати можуть бути використані для підвищення достовірності діагностування патологій серцево-судинних хвороб в системах автоматизованого аналізу.

– запропоновано математичний опис огинаючої основних тонів фонокардіосигналу у вигляді несиметричних гаусових імпульсів для усереднених кардіоциклів для подальшого використання отриманих коефіцієнтів у діагностичних цілях.

– для практичної медицини запропоновано діагностування захворювань серця на основі визначення коефіцієнтів апроксимації огинаючої фонокардіосигналу усереднених кардіоциклів.

- реалізовано віртуальний прилад в середовищі Labview для автоматичного аналізу довільних ділянок фонокардіограм з визначення параметрів апроксимації несиметричними гаусовими імпульсами для подальшого використання для діагностики серцево-судинних захворювань.
- охарактеризовані діагностичні можливості виявлення патологій серцево-судинних захворювань за формою апроксимованої огинаючої на прикладах патологічних фонокардіосигналів, що підтвердило можливість діагностування патологій серцево-судинної системи людини запропонованим методом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] A. Perekrest, D. Kukharenko and others. Software and Hardware Solution of a Complex Tumor Visualization System for Use in a Medical Institution of an Industrial Enterprise. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022, pp. 1-6.
- [2] Mospan D., Yurko A. and others. Possibility Analysis of preserving the ST segment shift when approximated by Gaussian pulses. International Conference on «MODERN ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS». Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, October 20-22, 2022, P. 518-521. DOI: 10.1109/MEES58014.2022.10005749
- [3] Moiseev, M., Maksymova, S., Yevsieiev, V., & Alkhalaileh, A. (2024). Program Algorithm for Monitoring System Development. *Journal of universal science research*, 2(7), 33-43.
- [4] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*.
- [5] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*.
- [6] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.
- [7] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [9] Khalid, M. S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I. S., Lyashenko, V., & Wahid, R. (2022). HMI development automation with GUI elements for object-Oriented programming Languages implementation.
- [10] Samoilenko, H., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Amer, A. J. (2024). Review for Collective Problem-Solving by a Group of Robots.
- [11] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). The Sobel algorithm implementation for detection an object contour in the mobile robot's workspace in real time.
- [12] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [13] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [14] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.
- [15] Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 3046116.
- [16] Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.
- [17] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). *Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM* (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers Scienta).
- [18] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.
- [19] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In *2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 39-42). IEEE.