

УДК 621.317

**Н.І. ПОВОРОЗНЮК**, канд. техн. наук, доц., НТУУ "КПІ", Київ,  
**К.В. ЧОРНИЙ**, студент, НТУУ "КПІ", Київ

## **ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ ДІЯЛЬНОСТІ СЕРЦЯ**

Аускультация – дослідження звукових сигналів діяльності серця з метою ранньої діагностики серцевих захворювань знайшла широке застосування у лікувальній практиці. Над звуками серця, знятими з сенсорів і перетвореними у цифрову форму (фонокардіограма), здійснюється сегментація, вилучення інформативних параметрів на основі вейвлет-аналізу, формування вектора ознак для проведення класифікації. Лл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** аускультация, фонокардіограма, вейвлет-аналіз, сегментація.

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** Серцево-судинні захворювання займають одне з провідних місць і є серйозною проблемою в охороні здоров'я. Затрати на лікування хворих на такі захворювання обходяться загальному бюджету Європейського Союзу у сотні мільярдів євро на рік. Рання діагностика і профілактика таких захворювань, крім пропаганди здорового способу життя, можуть значно скоротити втрати і поліпшити стан охорони здоров'я.

Прослуховування звукових сигналів діяльності серця – аускультация, яка виникла ще на початку 19 століття (1816 р.), продовжує відігравати значну роль у ранній діагностиці порушень у роботі серця завдяки своїй простоті, доступності і відносно незначним затратам [1 – 4]. Інші технології для діагностики, які застосовуються у сучасній медицині, – ультразвукова ехокардіографія, комп'ютерна рентгенівська томографія, магнітно-резонансна томографія значно дорожчі і можуть проводитися у спеціалізованих медичних центрах.

Можливості людського слуху обмежені і тому за допомогою механічного стетоскопа можна сприйняти лише незначну частину звукових сигналів діяльності серця. Підсилення цих сигналів електронним підсилювачем, хоча і збільшує область сприйнятих сигналів, все ж не вирішує всіх проблем. Правильний діагноз на основі аускультации залежить від навичок і багаторічного досвіду лікаря і у значній степені ґрунтується на інтуїції.

Останні досягнення в області електроніки і мікропроцесорної техніки, застосування цифрової обробки сигналів за складними алгоритмами дають змогу підняти аускультацию на якісно новий рівень. Візуалізація сигналів, зокрема у частотно-часовій області, можливість передавати сигнал на велику

---

© Н.І. Поворознюк, К.В. Чорний, 2013

відстань (телемедицина), застосування методів штучного інтелекту для підтримки прийняття рішень – ось лише неповний перелік можливостей для кардинального поліпшення якості діагностування серцево-судинних захворювань

**Мета статті.** Розробити процедуру аналізу звукових сигналів серцевої діяльності на основі вейвлет-перетворення з метою ранньої діагностики відхилень у роботі серця.

**Характеристики і параметри звукових сигналів діяльності серця.** Звуки серця (англ. *heart sound*) виникають внаслідок складних механічних і гідродинамічних процесів, що відбуваються у серцево-судинній системі людини, зокрема у самому серці. У здоровому стані серце генерує вузькосмуговий сигнал  $S_1$  (рис.), який утворюється в результаті закривання трикуспідального ( $T1$ ), мітрального ( $M1$ ) клапанів та скорочення шлуночків, і сигнал  $S_2$ , утворений в результаті закривання клапанів легеневої артерії та аорти і відкривання мітрального та трикуспідального клапанів. Інтервал часу між  $S_1$  і  $S_2$  називається систолою, а між  $S_2$  і  $S_1$  – діастолюю.

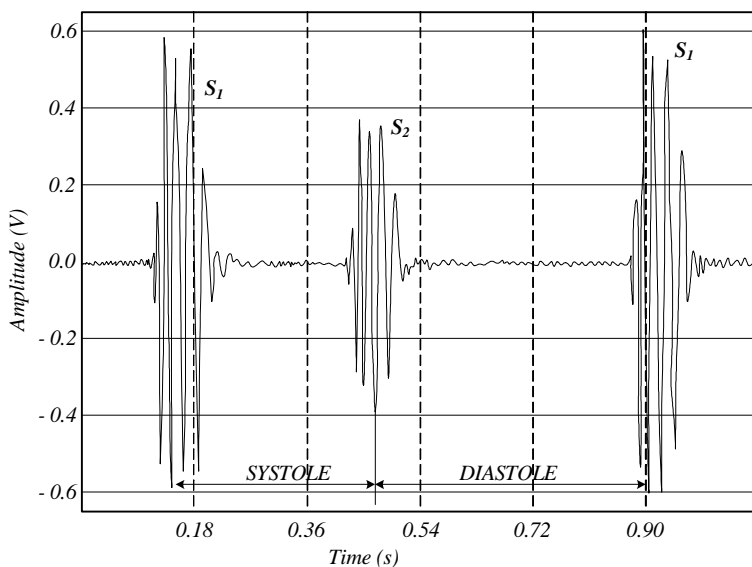


Рис. Звуковий сигнал діяльності серця – фонокардіограма

При порушеннях у роботі серця, таких як стенози, регургітації, тахікардії тощо, сигнали  $S1$  і  $S2$  спотворюються і виникають додаткові сигнали і шуми. Шуми серця (англ. *murmurs*) спричинені турбулентним рухом крові у звужених отворах. Кожне порушення чи патологія особливим чином спотворюють звукові сигнали діяльності серця і тому детальний і глибокий аналіз цих звукових сигналів дає змогу діагностувати різні захворювання серця [5 – 7].

Обробка звукових сигналів діяльності серця з метою діагностики здійснюється у кілька етапів: попередня обробка, сегментація, вилучення інформативних параметрів і класифікація.

**Попередня обробка сигналів.** Звуковий сигнал, що несе інформацію про роботу серця, сприймається сенсорами, закріпленими на тілі пацієнта, і підсилюється до потрібного рівня. Основна енергія сигналу зосереджена у частотному діапазоні 10 – 750 Гц, тому для зменшення шкідливого впливу шумів здійснюється низькочастотна фільтрація сигналу. Для впорядкування бази даних сигнали нормують, тобто приводять у єдиний динамічний діапазон. Нормований сигнал дискретизується і перетворюється за допомогою АЦП у послідовність двійкових чисел. Над сигналом у цифровій формі, записаному на електронний носій, – фонокардіограмою, здійснюється наступний етап обробки – сегментація.

**Сегментація сигналів.** Сегментація – це складний процес обробки інформації, який можна поділити на два види: зовнішню і внутрішню сегментацію. При зовнішній сегментації виділяється окремий період ритму серця, а при внутрішній – сигнали  $S1$  і  $S2$ , початок і кінець систоли та діастоли. Сегментація ускладнюється за наявності шумів серця, сторонніх шумів, додаткових тонів  $S3$  і  $S4$ .

Найпростіший спосіб зовнішньої сегментації – синхронізація фонокардіограми і електрокардіограми, оскільки в електрокардіограмі різко виділяються пікові значення на початку систоли. Недоліком цього методу є необхідність додаткового устаткування для зняття електрокардіограми. У літературі [7 – 10] описана низка методів зовнішньої сегментації із застосуванням лише фонокардіограм, що ґрунтуються на обчисленні енергетичних параметрів сигналу. Період серцевого ритму фіксується при перевищенні певного порогу потужністю сигналу. При зростанні рівня шуму якість сегментації різко погіршується.

Для підвищення робастності сегментації пропонується така методика. Над сигналом, що пройшов попередню обробку, виконується вейвлет перетворення і виділяється частотно-часова область, де зосереджена

основна енергія компонент  $S1$  і  $S2$ . Далі визначається взаємна спектральна густина потужності виділеної області і всього сигналу у цілому. Оберненим перетворенням Фур'є визначається взаємна кореляційна функція і по інтервалу часу між її піковими значеннями виділяється період серцевого ритму.

**Вилучення інформативних параметрів сигналів (Feature Extraction).** Інформативні параметри звукових сигналів діяльності серця можна поділити на три групи: *морфологічні*, що описують форму сигналів, *частотні*, що несуть інформацію про частотний склад сигналу і *часові*, які відображають як часові співвідношення між компонентами сигналу, так і тривалості самих компонент. "Сира" фонокардіограма містить як ці важливі параметри, так і другорядні, що не мають важливого значення для діагностики. Вилучення інформативних параметрів дає змогу значно зменшити обсяг даних подальшого аналізу.

Для вилучення інформативних параметрів доцільно використовувати, як і на етапі сегментації, частотно-часове представлення сигналів, отримане за допомогою вейвлет-перетворення, враховуючи локалізацію інформативних параметрів на частотно-часовій площині.

**Висновки.** Звукові сигнали, що утворюються при роботі серця, несуть цінну інформацію про його стан. Відхилення у роботі серця, спричинені різними захворюваннями, відображаються у зміні форми сигналу, його частотного складу, часових співвідношень між компонентами сигналу. Застосовуючи останні досягнення в області електронної та мікропроцесорної техніки і використовуючи сучасні методи обробки сигналів, можна успішно діагностувати відхилення від норми у роботі серця і попереджувати захворювання серця на ранній стадії. Одним з таких методів є вейвлет-аналіз фонокардіограм, який дає змогу досліджувати сигнали у частотно-часовій області з високою роздільною здатністю як по частоті, так і за часом. У середовищі Matlab/Simulink був проведений аналіз звукових сигналів діяльності здорового серця і з різними патологіями. Аналіз показав високу ефективність запропонованих методик.

**Список літератури:** 1. *Watrous R.L.* Computer-Aided Auscultation of the Heart: From Anatomy and Physiology to Diagnostic Decision Support / *R.L. Watrous* // Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference. – 2006. – P. 140-143. 2. *Rangayyan R.M.* Phonocardiogram Signal Analysis: A review / *R.M. Rangayyan and R.J. Lehner* // CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering. – 1988. – Vol. 15 (3) – P. 211-236. 3. *Obaidat M.S.* Phonocardiogram signal analysis: techniques and performance comparison / *M.S. Obaidat* // J. Med. Eng. Technol. – Vol. 17 (6). – 1993. – P. 221-227. 4. *Durand L.-G.* Digital signal processing of the phonocardiogram: review of the most recent advancements / *L.-G. Durand and*

*P. Pibarot* // Critical Review in Biomedical Eng. – 1995. – Vol. 23. – P 163-219. **5.** *Dokur Z.* Heart sound classification using wavelet transform and incremental self-organizing map / *Z. Dokur, T. Ölmez* // Digital Signal Processing: A Review Journal. – 2008. – Vol. 18. – P. 951-959. **6.** *Jeyarani A.D.* Feature Extraction from Heart sound signal for Anomaly Detection / *A.D. Jeyarani, J. Singh Thomas* // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. – 2011. – Vol. 11 (9). – P. 132-140. **7.** *Debbal S.M.* Computerized Heart Sounds Analysis / *S.M. Debbal* // Discrete Wavelet Transforms – Biomedical Applications. – 2011. – P. 63-90. **8.** *Wood J.C.* Time–frequency transforms: a new approach to first heart sound frequency dynamics / *J.C. Wood, A.J. Buda, D.T. Barry* // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1992. – Vol. 39 (7). – P. 730-740. **9.** *Debbal S.M.* Features for Heartbeat Sound Signal Normal and Pathological / *S.M. Debbal, F. Bereksi-Reguig* // Recent Patents on Computer Science. – 2008. – № 1. – P. 1-8. **10.** *Ari S.* Detection of cardiac abnormality from PCG signal using LMS based least square SVM classifier / *S. Ari, K. Hembram, G. Saha* // Expert Systems with Applications. – 2010. – Vol. 37. – P. 8019-8026.

Надійшла до редакцію 03.07.2013

Статтю представив д-р техн. наук, проф. НТУУ "КПІ" Сільвестров А.М.

УДК 621.317

**Вейвлет-анализ звуковых сигналов деятельности сердца / Поворознюк Н.И., Черный К.В.** // // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 134 – 138.

Аускультация – исследование звуковых сигналов деятельности сердца с целью ранней диагностики сердечных заболеваний – нашла широкое применение во врачебной практике. Над звуками сердца, снятыми сенсорами и преобразованными в цифровую форму (фонокардиограмма), выполняется сегментация, извлечение информативных параметров на основании вейвлет-анализа и формирования вектора признаков для проведения классификации. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** аускультация, фонокардиограмма, вейвлет-преобразование, сегментация.

UDC 621.317

**Wavelet analysis of heart sound signals / Povoroziuk N.I., Chornyi K.V.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 134 – 138.

Auscultation – a study of the heart sound signals for early detection has been widely used in medical practice. Above the sounds of the heart, removed from the sensor and converted to digital form (phonocardiogram), the segmentation is performed, the extraction of informative parameters on the basis of wavelet analysis and the formation of the feature vector for classification. Figs.: 1. Refs.: 10 titles.

**Keywords:** auscultation, phonocardiogram, wavelet analysis, segmentation.