

УДК 616-07

К.О. Борбат, студентка гр. ВВ-81мп, к.т.н., ст. викл. Морозова М.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. В статті розглянуто можливості та особливості ефективного застосування вейвлет–перетворення для обробки фоно- та електрокардіографічних сигналів. Виокремлено особливості обробки сигналів. Дано рекомендації щодо вибору масштабування.

Ключові слова : електрокардіограма, вейвлет–перетворення, фонокардіографія.

ВСТУП

Для вирішення проблеми обробки сигналів від фоно- та електрокардіограм розроблено ряд методів аналізу нестационарних сигналів. Найбільш поширеним методом є вейвлет–перетворення, тобто розкладання сигналу по набору базисних функцій, які визначені на інтервалі більш короткому, ніж тривалість кардіосигналу. При цьому всі функції набору породжуються за допомогою двопараметричного перетворення (зсув за часом і зміна масштабування) однієї вихідної функції, яка називається “материнською” або вейвлетом.

ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ ДЛЯ ФОНОКАРДІОГРАФІЇ ТА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЇ

Фонокардіографія (ФКГ) заснована на реєстрації та аналізі звуків, які виникають при скороченні і розслабленні м'язів серця [1,2]. ФКГ використовується для визначення характерних серцевих шумів: часу появи, місця максимальної інтенсивності, тривалості, частоти.

Розрізняють декілька характерних тонів ФКГ (дивись рис. 1). Вирізняють наступні зміни, що допомагають розпізнати деякі захворювання серця: послаблення, підсилення або розкладення 1-го та 2-го тонів, поява патологічного 3-го та 4-го тонів, систолічних і діастолічних шумів.

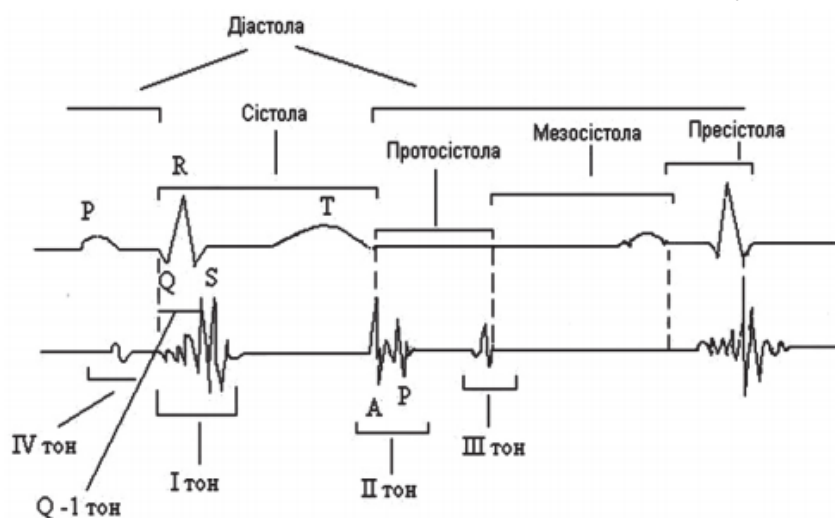


Рисунок 1. Комплекс сигналів на ЕКГ на тонів серця, що записані синхронно

При аналізі шумів враховують амплітуду, форму, тривалість, часові відношення між шумами і тонами, фазовість шумів.

Електрокардіографія (ЕКГ) є одним з найбільш прогресивних методів дослідження серцево–судинної системи, зокрема, функціонального стану серця.

Електрокардіографічне дослідження передбачає реєстрацію кривої зміни біопотенціалів серця, тобто кривої зміни величини і напрямку електрорушійної сили збуджених ділянок міокарда в часі відповідно до певної осі відведень.

В кардіоциклі виділяють наступні елементи: Р-хвиля, QRS-комплекс та Т-хвиля. Найбільше значення мають сегменти PQ і ST [3].

На початкових стадіях розвитку захворювань серця використання звичайної електрокардіографії у спокої, як правило, не виявляє відхилень від норми. Для цього використовують більш тривалі дослідження, наприклад 24-годинне Холтерівське моніторування, яке накопичує електрокардіосигнали в цифровому вигляді. Сигнали передаються в персональний комп'ютер для подальшої їх обробки та статистичного, спектрального і структурного аналізу. Оскільки в результаті запису накопичуються великі обсяги кардіоінформації, то необхідно використовувати швидкі і надійні методи її обробки та аналізу.

КЛАСИФІКАЦІЯ ВЕЙВЛЕТ–АЛГОРИТМІВ

Дані з ЕКГ та ФКГ, які записуються тривалий час, мають великий об'єм та зашумленість. Такі дані потребують значного розміру обчислень та супроводжуються низькою швидкістю обробки [1]. Вейвлет–алгоритми класифікують на два види: безперервні (CWT – Continuous Wavelet Transform) і дискретні (DWT – Discrete Wavelet Transform) вейвлет–перетворення. За допомогою методу DWT вдається швидше отримати набір вейвлет–коефіцієнтів. Метод дає досить точне представлення щодо сигналу при меншому об'ємі отриманих в результаті даних. Але CWT – зручніший, дозволяє більш повно і чітко представити і проаналізувати інформацію, яка міститься в даних, хоча й потребує більших обчислювальних затрат. Нижче наведено базисну функцію вейвлет–перетворення:

$$C_{a,b} = \int_R S(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

де $S(t)$ – сигнал ФКГ; ψ – материнський вейвлет; a – масштабуючий коефіцієнт, що дає уявлення про частотні властивості сигналу; b – тимчасова затримка, що відображає час, впродовж якого відбувалося зняття даних ФКГ.

За допомогою вейвлет–перетворення виконується відновлення сигналу за допомогою різних складових вейвлет–представлення: апроксимація (груба оцінка) і деталізація (більш точна оцінка). Вибір масштабування ФКГ–сигналу визначається середньоквадратичним відхиленням реального ФКГ–сигналу від відновленого.

ОБРОБКА ДАНИХ ЕКГ

Виявлення імпульсу R або QRS є першочерговою задачею при автоматичній обробці ЕКГ. Задача значно ускладнюється при збільшенні об'ємів даних, наприклад, коли тривалий запис кардіограми отримано в результаті моніторування за Холтером.

Сигнал ЕКГ, окрім запису активності серця, може містити шумовий компонент, який складається зі змінного струму живлення та зміни опору контактів датчиків. Шумові компоненти відділяють за допомогою звичайної фільтрації, однак фільтр впливає на імпульси QRS, розмиваючи їх [3, 4].

На рис. 2 зображено графіки з результатами фільтрації сигналу одного періоду ЕКГ на відподному інтервалі масштабування. Сірою кривою зображено фрагмент вихідних даних, чорною кривою зображено сигнал, отриманий після перетворення.

Фільтр з невеликими масштабами, що відповідають нижній частині спектра, виділяє з сигналу високочастотні складові, які зазвичай є стороннім шумом. Окрім шуму на вихід можуть потрапити імпульси високочастотних компонентів сигналу (зубці комплексу QRS). Зміною масштабу можна домогтися повного усунення високочастотних шумів, але при цьому може значно спотворитися корисний сигнал (дивись рис. 2).

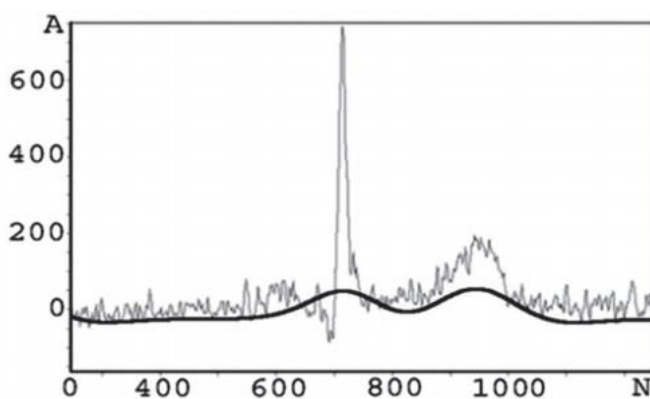


Рисунок 2. Виділення компонентів сигналу

Рекомендується вибір масштабу виконувати після перетворення, обчисливши вейвлет-спектр для досить широкого діапазону масштабування. Потім по карті спектра обирають необхідні масштаби і виконують зворотнє вейвлет-перетворення.

У роботі [5] проаналізовано сімейства Добеші, Сімлетів, Койфлетів, Гаусових вейвлетів, Біортогональних вейвлетів, а також вейвлетів Хаара, Мейера, Морле і «Мексиканський капелюх» відповідно до наступних параметрів вейвлет-частотної характеристики: ширина смуги пропускання головної пелюстки, площа бічних пелюсток, близькість центральної частоти головної пелюстки до частоти досліджуваного сигналу. Згідно з [5] кращими базисами в кожному вейвлет-сімействі можна вважати вейвлети: «db10» з сімейства Добеші; «sym9» з сімейства Сімлетів; «coif4» з сімейства Койфлетів; «gaus3» з сімейства Гаусових вейвлетів; «bior3.9» з сімейства біортогональних вейвлетів. Аналізуючи вейвлет-частотні характеристики вейвлет-сімейств, можна зробити висновок, що зі збільшенням порядку вейвлета в його сімействі зменшується смуга пропускання головної пелюстки і площа, зайнята бічними пелюстками. Найменшу смугу пропускання мають вейвлети Морлі, Гаусові вейвлети «gaus6» – «gaus8», біортогональні вейвлети «bior3.3» – «bior3.9».

При виділенні шумів на вихід може потрапити і частина корисного сигналу. Тобто при фільтрації зникне не тільки шум, але й високочастотна складова комплексу QRS.

Для кожної області можливо вибрати свій коефіцієнт відсікання. Наприклад, як зазначено в табл. 1. Правильно підібраний коефіцієнт відсікання дозволить зберегти високочастотну частину комплексу QRS, де відношення сигналу та шуму значно перевищує значення в інших областях. Це дає можливість знизити поріг в інтервалі з комплексом QRS без збільшення шуму на виході фільтра.

Таблиця 1. Масштаби та рівні відсікання

<i>Масштаб</i>	<i>Поріг</i>	<i>Інтервал</i>
1,18–3,36	100	405...415
4–11,31	400	280...520
Більше ніж 13,45	250	0...900

ВИСНОВКИ

Розглянуто базові функції вейлет–методу та використання вейвлет–перетворень для обробки ФКГ та ЕКГ сигналів. Змінюючи границі області масштабів рекомендується налаштувати вейвлет–фільтр для вирішення наступних проблем: відсікання сторонніх шумів на масштабах, вищих деякого рівня після фільтрації; виділення комплексу QRS на фоні значно послаблених інших компонентів сигналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Дубровін, В. І. Огляд методів вейвлет-перетворення для аналізу фоно- та електрокардіограм / В. І. Дубровін, Ю. В. Твердохліб, А. В. Рашавченко // Журнал Бионика интеллекта. — 2013. — № 2(8). — С. 87-92.
- [2] Порева, А. С. Обработка ФКГ-сигнала при помощи вейвлет-преобразований / А.С. Порева, В.А. Фесечко // Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». Методы и средства обработки сигналов и изображений. — 2009. — №1. — С. 148-155.
- [3] Зудбинов, Ю. И. Азбука ЭКГ и боли в сердце. / Ю. И. Зудбинов. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. — 240 с.
- [4] Шитов, А. Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Шитов Андрей Борисович ; ИГУ. — Иваново, 2001. — 125 с.
- [5] Твердохліб, Ю. В. Методи та інформаційна технологія комплексного оцінювання параметрів вейвлет–перетворення нестационарних сигналів : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Твердохліб Юлія Володимирівна ; ХНЕУ. — З., 2018. — 178 с.

Наук. керівник – к.т.н. Морозова М.М.