

Перетворення Гільберта-Хуанга як метод обробки нестационарних біомедичних сигналів

Досліджуються можливості використання перетворення Гільберта-Хуанга для аналізу електрокардіосигналів. Розглянуто методику дослідження електрокардіосигналів, а також кардіоритмограм та деяких його окремих частин, що базується на перетворенні Гільберта-Хуанга.

Будь-який біомедичний сигнал відповідно до своїх властивостей є сигналом нестационарним. Його компоненти виникають на різних частотах та, відповідно, змінюються в часі. Характеристики ж електрокардіосигналу при аналізі мають велику цінність, адже правильна обробка сигналу дозволяє підвищити вірного діагностичного заключення. Тому зазвичай при аналізі використовують різні підходи - часово-частотні перетворення, такі як віконне перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення, s-перетворення, розподіл Вігнера-Вілля і перетворення Гільберта-Хуанга. Кожен з методів характеризується тим, що одержуваний результат буде безпосередньо залежати від вибору відповідних параметрів методу (типу використаного базисного вейвлета, розміру вікна, масштабу і т.ін.).

Перетворення Гільберта-Хуанга (ПГХ) [1, 2] є одним із сучасних методів аналізу нестационарних сигналів, проте не має широкого застосування в області біомедицини [3]. Метод використовує адаптивний базис: базисні функції конструюють безпосередньо з досліджуваного сигналу. Серед його переваг над іншими методами є можливість розкладання сигналу на компоненти, або моди, що мають фізичний сенс, та можливість обчислення значення функцій, які описують зміни миттєвої частоти аналізованого сигналу від часу. Метод складається з двох частин: емпіричної модової декомпозиції (ЕМД) та спектрального аналізу Гільберта (САГ). Етапи ЕМД:

1. Визначення всіх екстремумів сигналу $x(t)$.
2. Інтерполяція між мінімумами, щоб отримати верхню обвідну $x_U(t)$, і між максимумами, щоб отримати нижню обвідну $x_L(t)$.
3. Обчислення середньої обвідної $m(t)$.

$$m(t) = \frac{x_U(t) + x_L(t)}{2}$$

4. Отримання власного коливання:

$$d(t) = x(t) - m(t).$$

5. Повторення етапів з рештою $m(t)$.

Перетворення Гільберта реального сигналу $x(t)$ визначається як:

$$H[x(t)] = x * \frac{1}{\pi t} = y(t),$$

або, використовуючи визначення згортки:

$$y(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} dt.$$

Спочатку сигнал розкладають на характеристичні модові функції (ХМФ), що містяться в сигналі. Потім до цих функцій застосовують перетворення Гільберта і отримують часово-частотне представлення (спектр Гільберта) для кожної ХМФ.

Спектр Гільберта показує часово-частотний розподіл енергії (амплітуди) сигналу як функцію частоти і дозволяє виявити його локальні особливості. Така комбінація перетворення Гільберта та емпіричної модової декомпозиції забезпечує більш фізично змістовний опис часово-частотної енергії сигналу.

Найсуттєвішою перевагою ПГХ є те, що метод дозволяє розкласти досліджуваний сигнал до адаптивного набору базових функцій без заздалегідь визначеного вибору параметрів. Для реалізації такого аналізу досліджувались електрокардіосигнали, які були взяті із бази даних [4]. Було розроблено програмний код, в основі якого лежить перетворення Гільберта-Хуанга, в середовищі MATLAB. Згідно з першим етапом ПГХ шляхом модової декомпозиції було розкладено сигнал на 11 ХМФ. В результаті отримано набір таких компонент, розкладених від вищої до нижньої частоти. Далі за алгоритмом є визначення спектру Гільберта для сигналу, що дозволяє визначити миттєві частоти для даних характеристичних модових функцій.

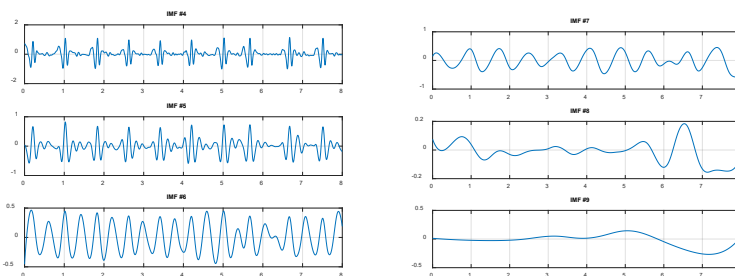


Рис. 1. Отримані модові функції досліджуваного сигналу

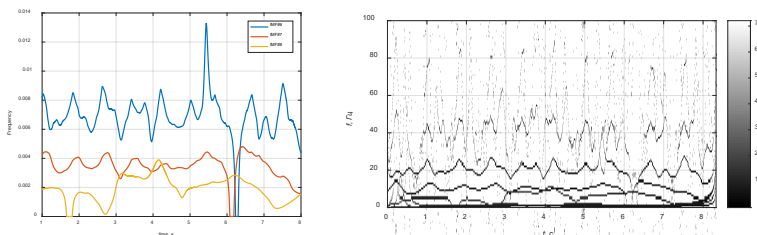


Рис. 2. Графіки миттєвих частот мод та спектр Гільберта

Також був проведений аналіз кардіоінтервалів аналогічним програмним кодом, з деякими змінами. Це дозволило перевірити властивості перетворення Гільберта-Хуанга на прикладі дослідженні сигналів з різними динамічними властивостями. Оброблення сигналів у такий спосіб дає змогу виявити нові діагностичні ознаки, що не визначаються при інших методах аналізу сигналів.

Тобто створений програмний код дозволяє шляхом емпіричної модової декомпозиції отримати задану кількість компонент сигналу, кожна з яких є частиною сигналу та несе в собі частину інформації, також визначається спектр Гільберта сигналу, будуються графіки миттєвих частот заданих мод. І як результат, визначено, що метод на основі ПГХ дозволяє отримати більшу кількість діагностичних параметрів сигналу і є дієвим при аналізі електрокардіосигналів та його окремих вибраних інтервалів.

Для подолання проблеми змішування складових сигналу при обчисленні ХМФ використано метод множинної ЕМД [5]. В ньому з досліджуваного сигналу створюється ансамбль реалізацій. Його отримують додаванням різних реалізацій білого шуму до початкових даних, а потім застосовують алгоритм ЕМД до цих нових наборів даних. Підсумковий результат обчислюють як середнє по ансамблю відповідної ХМФ.

Важливо, щоб кількість членів ансамблю збільшувалась при зростанні амплітуди шуму, щоб зменшити внесок доданого шуму до результатів, а зміна таких параметрів ЕМД як потужність шуму і кількість реалізацій в ансамблі слабо впливає на самі моди і сильніше впливає на миттєві частоти. Для цього було змінено значення середнього квадратичного відхилення шуму та кількість самих ансамблів.

Універсального методу для аналізу електрокардіосигналів на даний момент не існує. У кожного з методів є свої недоліки та при роботі з ними можуть виникати різні проблеми, що впливає і на дослідження сигналів, і на їх обробку. Тому втрату великої кількості діагностично важливих даних під час аналізу ЕКГ-сигналу слід звести до мінімуму пошуком нових підходящих методів. Отже, був представлений відносно новий метод аналізу - перетворення Гільберта-Хуанга, яке має недостатню опрацьованість застосування на нестационарних сигналах, але метод має таку перевагу, як висока адаптивність, оскільки базисні функції для розкладення сигналу конструюють безпосередньо з досліджуваного сигналу. Як результат аналізу окремого електрокардіосигналу за допомогою створеного програмного забезпечення на основі ПГХ було отримано діагностичні дані сигналу, що не могли бути виявленими іншими методами.

Список літератури

1. N. E. Huang, Z. Shen, S. R. Long, M. C. Wu, E. H. Shih, Q. Zheng, C. C. Tung and H. H. Liu, The empirical mode decomposition method and the Hilbert spectrum for non-stationary time series analysis, Proc. Roy. Soc. London 454A (1998) 903–995.

2. Hilbert-Huang Transform and Its Applications in Engineering and Biomedical Signal Analysis. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/2a10/e561590ac5bfcfb120fec94fcf7a60653aa>

3. Тычков А. Ю. Применение модифицированного преобразования Гильберта-Хуанга для решения задач цифровой обработки медицинских сигналов. – Известия высших учебных заведений, 2018, №3. – С. 70-82. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-modifitsirovannogo-preobrazovaniya-gilberta-huanga-dlya-resheniya-zadach-tsifrovoy-obrabotki-meditsinskih-signalov>

4. Goldberger AL, Amaral LAN, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng C-K, Stanley HE. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals (2003). *Circulation*. 101(23):e215-e220. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://physionet.org>

5. Wu Z. Ensemble Empirical Mode Decomposition: a noise-assisted data analysis method. / Z. Wu, N.E. Huang. – Режим доступа: <http://rcada.ncu.edu.tw/ref/reference007.pdf>.