

$$U_{\text{дн}j} = U_{\text{он}} \cdot \frac{C_1 + C_k}{\sum_{i=0}^{n-1} C_i} + j \cdot U_{\text{он}} \cdot \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{C_0}{\sum_{i=0}^{n-1} C_i}, \quad (14)$$

де $j \in [0, 1, \dots, \frac{C_2}{C_1}]$. Відношення C_1/C_2 задає крок зміни допоміжного сигналу, послідовно формуючи необхідну напругу.

Висновки

У роботі розглянуто структуру і функціонування циклічного АЦП. Запропоновано спосіб цифрового самокалібрування для АЦП даного класу із використанням вагової надлишковості для зменшення похибки перетворення, який дозволяє повністю усунути адитивну складову і зменшити вплив мультиплікативної

Література

1. Захарченко С.М. Самокалібровані АЦП з накопиченням заряду на основі надлишкових позиційних систем числення: [монографія] / Захарченко С.М., Азаров О.Д., Харьков О.М. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 235 с.
2. Мулявка Я. Схеми на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами; [пер. с польск.] / Мулявка Я. – М.: МИ., 1992. – 416 с.
3. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства: [учебник для вузов] / Шляндин В.М. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
4. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / [А.И. Кондалев, В.А. Багацкий, В.А. Романов, В.А. Фабричев] // Наукова думка, 1987. – 280 с.
5. Алипов Н.В. Алгоритмы функционирования параллельно-последовательных преобразователей формы информации, корректирующих динамические ошибки / Алипов Н.В // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Харьков: Вища школа, 1985. – С. 57-64.
6. Азаров А.Д. Разработка теории аналого-цифрового преобразования на основе избыточных позиционных систем счисления: автореф. дис. ... д-ра техн.наук: 05.11.16 / Азаров А.Д. – Винниця: Винницький політехнічний інститут, 1994. – 44 с.
7. Захарченко С.М. Исследование и разработка самокалибрующихся АЦП с накопителем заряда на основе избыточных позиционных систем счисления: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.08 / Захарченко С.М. / Винниц. гос. техн. ун-т. – Винниця, 1997. – 16 с.
8. Стахов А.П. Аналого-цифровые преобразователи на основе избыточных систем счисления / Стахов А.П., Азаров А.Д., Моисеев В.И // Помехоустойчивые коды. – М.: Знание, 1989. – С. 40-48.

Надійшла 20.5.2010 р.

УДК 517.958

Л.Є. ДЕДІВ, М.О. ХВОСТИВСЬКИЙ, Г.М. ОСУХІВСЬКА
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ОПРАЦЮВАННЯ ДОБОВОГО ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ СИНФАЗНИМ МЕТОДОМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ СИСТЕМ ГОЛТЕРІВСЬКОГО МОНІТОРИНГУ

Опрацьовано добовий електрокардіосигнал як кусково-періодичну корельовану випадкову послідовність синфазним методом. На основі отриманих результатів комп'ютерного опрацювання в середовищі Matlab 7.0 встановлено, що отримані оцінки спектральних компонент є інформативно-інваріантними ознаками добового електрокардіосигналу, котрі відповідають функціональному стану серця людини (норма або патологія) і дають змогу своєчасно виявити "скриті" патологічні зміни у функціонуванні серця людини.

It is worked out day's electrocardiosignal as the cobbed-periodic correlated casual sequence by a sinphase method. On the basis of the got results of the computer working in the environment of Matlab 7.0 set, that the got estimations of spectral components are the informing-invariant signs of day's electrocardiosignal, which answer the functional state of heart of man (norm or pathology) and enable in good time to educe the "hidden" pathological changes in functioning of heart of man.

Ключові слова: електрокардіосигнал, синфазний метод, голтерівський моніторинг.

Вступ

На важливість діагностики серцево-судинної системи за електрокардіосигналом впродовж довготривалого інтервалу часу, вказували дослідники медичного спрямування, такі як Макаров Л.М [1], Недоступ О.В., Дабровські А [2], Dickinson P., Scott O. та ін., зокрема встановлено, що аналіз

електрокардіосигналів (ЕКС) на базі голтерівського моніторингу (реєстрація електрокардіосигналу впродовж доби) дає змогу оцінити роботу серця людини протягом доби, виявити зміни і порушення у функціонуванні серцево-судинної системи, і тим самим, забезпечити глибший аналіз різного типу патологій, точність діагнозу, і відповідно, вибір ефективного методу лікування. Ефективність методу лікування захворювань серця людини залежить від наявності відповідної кардіологічної системи голтерівського моніторингу, ефективність якої має визначатися можливостями математичної моделі і давати змогу автоматизовано проводити процес діагностування.

На сьогодні відомий ряд математичних моделей електрокардіосигналів, які базовані на стохастичному підході щодо їх побудови (зокрема, виділено адитивну суміш лінійних випадкових процесів (Лупенко С.А., Щербак Л.М.) [3], адитивну суміш стаціонарних і нестаціонарних процесів (Литвиненко Я.В., Щербак Л.М.) [4] та періодично корельований випадковий процес (Драган Я.П., Дунець В.Л), які дають адекватний опис електрокардіосигналу на короткотривалому інтервалі часу, що є непридатним для систем голтерівського моніторингу, оскільки серце людини функціонує на певних часових інтервалах доби по різному (з різною інтенсивністю і ритмом).

На підставі аналізу відомих математичних моделей ЕКС встановлено, що ці моделі дають змогу описати ЕКС на короткотривалому інтервалі часу, що є неадекватним для систем голтерівського моніторингу, оскільки серце людини функціонує на певних часових інтервалах доби по різному (з різною інтенсивністю і ритмом). Оскільки добовий ЕКС є досить складним, за своєю природою сигналом, що містить в собі випадковість і повторність, тому для його аналізу необхідно використати математичний апарат, який би враховував фізичну природу механізму породження цього сигналу, поєднуючи в собі ці властивості.

1. Формулювання задачі

На базі математичної моделі добового ЕКС як кусково-ПКВП поставлено задачу використання синфазного методу для опрацювання сигналу. Застосування цього методу дасть змогу розширити можливість діагностики стану серця людини шляхом впровадження в область кардіології нового класу інформативних ознак.

2. Математична модель добового електрокардіосигналу

Протягом доби серце людини змінює свій режим роботи переходячи з стадії активності в стадію сну, тому ЕКС розбито на часові інтервали (рис. 1), які відповідають тривалості кожної стадії.

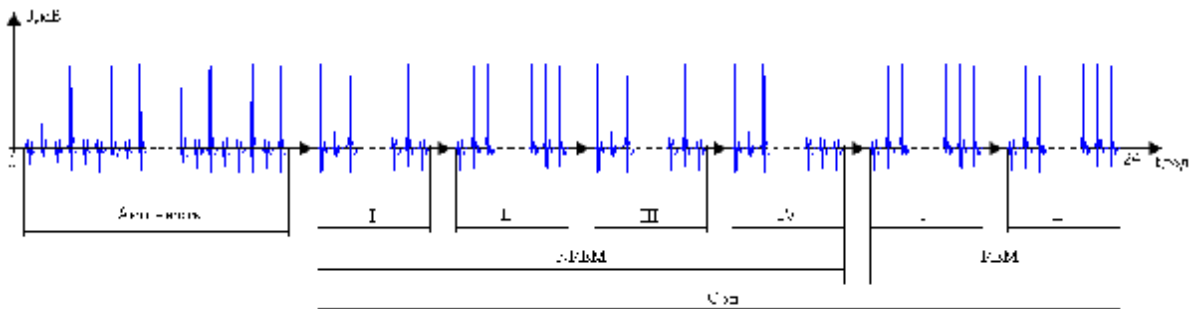


Рис. 1. Добовий моніторинг ЕКС і його стадії [5,6]:

NREM: I – стадія засинання, II – стадія поверхневого сну, III, IV – стадія глибокого сну

REM: I – стадія тонічного сну, II – стадія фазичного сну

В межах однієї стадії ЕКС трактовано як ПКВП (вираз 1) [7], що дає змогу врахувати у своїй структурі поєднання властивостей періодичності з стохастичністю, що є важливим для задач аналізу фазово-часової структури, з метою своєчасного виявлення «скритих» патологічних змін у функціонуванні серцево-судинної системи:

$$x(t) = \sum_{n \in Z} c_{D_n}(t) x_n(t), \quad (1)$$

де $c_{D_n}(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t \in D_n \\ 0, & \text{якщо } t \notin D_n \end{cases}$ – індикаторна функція, $D_n = [t_n, t_{n+1})$ – тривалість n -ї стадії;

$x_n(t)$ – ЕКС як періодично корельований випадковий процес в межах n -ї стадії:

$$x_n(t) = \sum_{k \in Z} x_{nk}(t) e^{-ik \frac{2\pi}{T}(t+t_n)}, t \in \mathbf{R} \quad (2)$$

Враховуючи те, що на кожній стадії ЕКС можна трактувати як ПКВП (рис. 1), тому добовий ЕКС подано у вигляді КПКВП через стаціонарні компоненти n -х стадій:

$$x(t) = \sum_{n \in Z} \sum_{k \in Z} c_{D_n}(t) \cdot x_{nk}(t) e^{-in \frac{2\pi}{T}(t+t_n)}, t \in \mathbf{R}, \quad (3)$$

де $x_{nk}(t)$ – стаціонарні компоненти ЕКС n -ї стадії, T – період корельованості

Зображення (3) у вигляді кусково-ПКВП є адекватним добовому ЕКС, що дає змогу врахувати у його структурі поєднання властивостей періодичності з стохастичністю як у структурі стадії, так і в структурі всього сигналу і застосувати до нього відомі методи статистичного опрацювання (синфазний та компонентний) з метою отримання статистичних оцінок, які є показниками стану серцево-судинної системи людини.

3. Синфазний метод аналізу добового електрокардіосигналу

Синфазний метод базується на відомому факті, що відліки значень ЕКС n -ої стадії через період корельованості T при різному виборі початку відліку (початкової фази) $t \in [0, T)$ утворюють стаціонарну ергодичну векторну випадкову послідовність $\{x(t), t \in [0, T)\}$, де $x(t) = \{x(t+kT), k \in Z\}$. На основі даного методу характеристики ЕКС (коваріаційні компоненти $\hat{b}_x(t, u)$), які дають змогу оцінити часову мінливість сигналу на n -ій стадії, обчислено за виразом:

$$\hat{b}_{x_n}(t, u) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_n^0(t+u+kT)x_n^0(t+kT), \quad (4)$$

де $x_n^0(t) = x_n(t) - m_{x_n}(t)$ – центрований ЕКС в межах n -ої стадії.

Кореляційний аналіз ЕКС n -ї стадії, окрім обчислення оцінок коваріаційних компонент $\hat{b}_{x_n}(t, u)$, ставить також задачу знаходження оцінок спектральних компонент $\hat{B}_{kn}(u)$. Оцінка спектральних компонент є статистикою:

$$\hat{B}_{kn}(u) = \frac{1}{N} \sum_{k \in Z} \hat{b}_{x_n}(t, u) \exp\left(-ik \frac{2\pi}{T} t\right). \quad (5)$$

4. Алгоритм комп'ютерного опрацювання добового електрокардіосигналу

Грунтуючись на вище перелічених виразах синфазного методу розроблено структуру алгоритму опрацювання добового ЕКС (рис. 2).

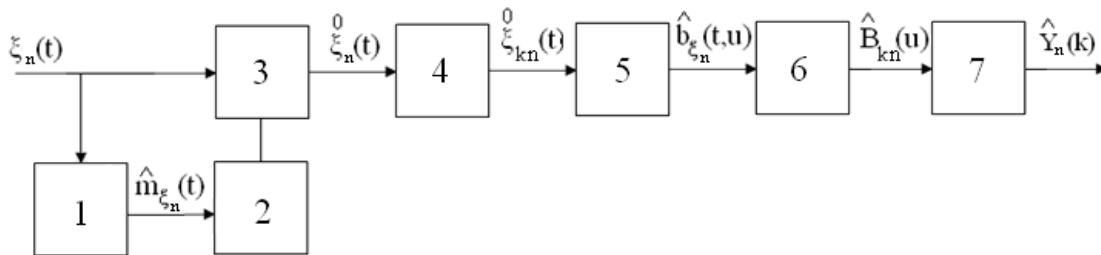


Рис. 2. Структура алгоритму добового ЕКС

На рис. 1 позначено: 1 – числення оцінки математичного сподівання $\hat{m}_{x_n}(t)$ від $x_n(t)$, 2 – формування періодичної послідовності $[\hat{m}_{x_n}(t) \hat{m}_{x_n}(t) \dots \hat{m}_{x_n}(t)]$, 3 – центрування випадкової послідовності $x_n^0(t)$, 4 – формування стаціонарних компонент $x_{kn}^0(t)$, 5 – числення оцінки кореляції $\hat{b}_{x_n}(t, u)$, 6 – числення оцінок спектральних компонент $\hat{B}_{kn}(u)$ і 7 – оцінювання спектральних компонент $\hat{Y}_n(k)$.

Розроблена структура алгоритму комп'ютерного опрацювання добового ЕКС (рис. 1) дає змогу оцінити його характеристики для виявлення нових в області кардіологічних систем голтерівського моніторингу інформативних ознак на основі математичної моделі у вигляді кускової періодично корельованої випадкової послідовності.

5. Результати комп'ютерного опрацювання добового електрокардіосигналу

Враховуючи структуру алгоритму опрацювання добового ЕКС (норма та патологія типу аритмія) синфазним методом (рис. 2) отримано результати, які наведені на рис. 3,4.

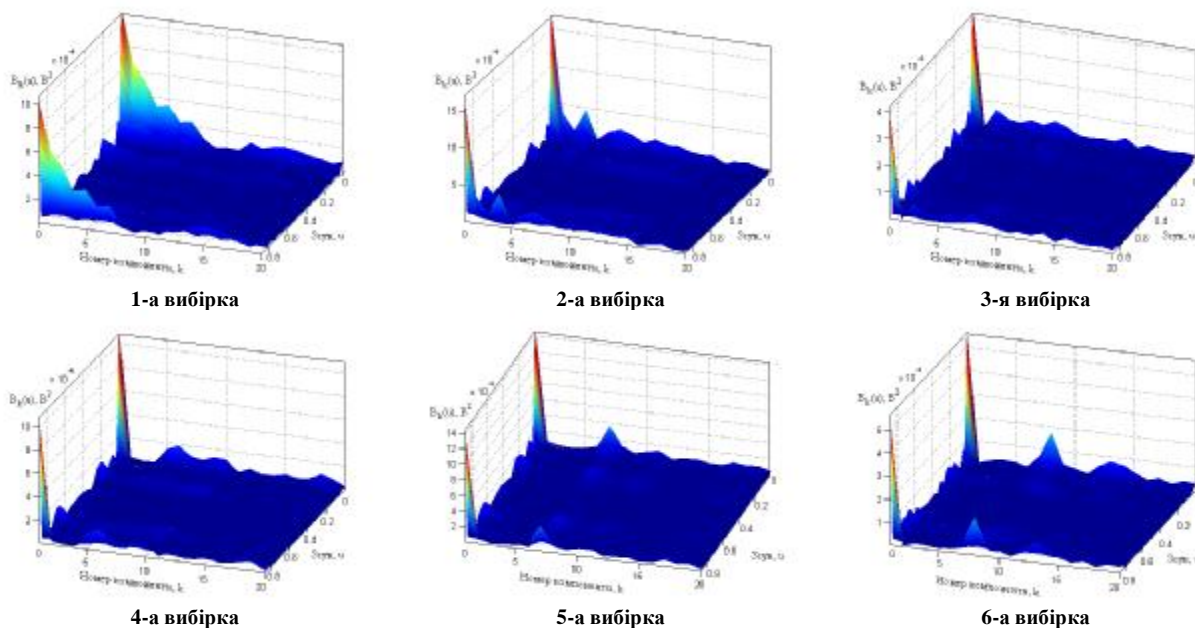


Рис. 3. Реалізації спектральних компонент вибірок ЕКС із добового сигналу (норма)

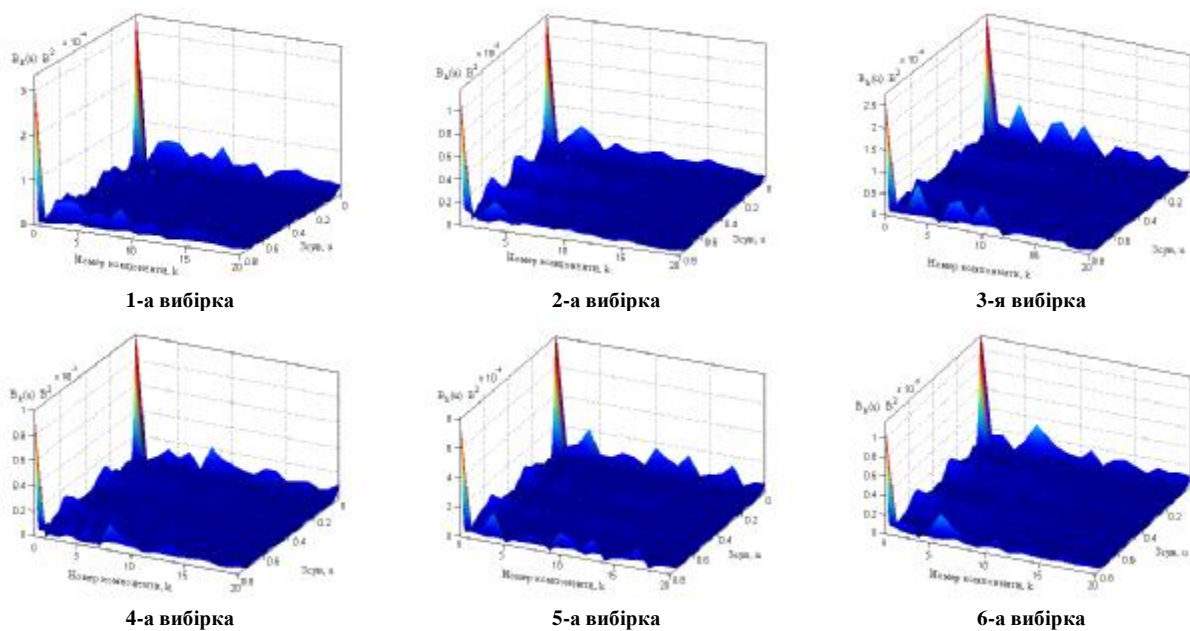


Рис. 4. Реалізації спектральних компонент вибірок ЕКС (патологія – аритмія)

Для того щоб знайти оцінку, яка дасть змогу описати сукупність ЕКС окремих стадій, і тим самим розширить інформативність систем голтерівського моніторингу шляхом впровадження в область кардіології нової інформативної ознаки використано оцінку математичного сподівання:

$$M_u \left\{ M_k \left\{ \hat{B}_{kn}(u) \right\} \right\} = \frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} M_k \left\{ \hat{B}_{kn}(u) \right\}, \quad u = \overline{1, N_u}, \quad k = \overline{1, N_k}, \quad (6)$$

де N_u – максимальний зсув, N_k – кількість компонент.

Реалізації оцінок математичних сподівання для математичних сподівань спектральних компонент ЕКС зображено на рис. 5.

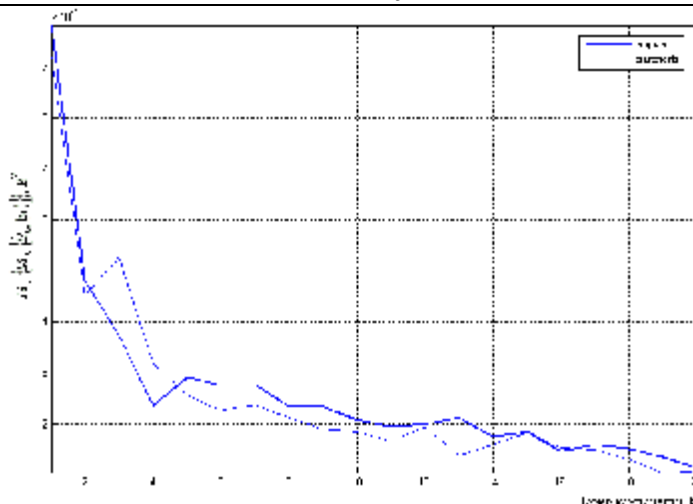


Рис. 5. Оцінки математичного сподівання $M_k \{ \hat{B}_{in}(u) \}$ добового ЕКС

На рис. 5 видно, що значення максимумів оцінок математичного сподівання ЕКС для норми та патології зосереджені на одних і тих самих частотах, проте амплітудні значення оцінок різняться між собою. Тому оцінки математичного сподівання є чутливо-кількісними показниками при розрізненні різних станів серцево-судинної системи (норма чи патологія).

Висновки

У результаті комп'ютерного опрацювання добового електрокардіосигналу синфазним методом в середовищі Matlab 7.0 отримано нові інформативні ознаки – спектральні компоненти, які фактично відповідають функціональному стану серця людини, і тим самим дають змогу розширити інформативність систем голтерівського моніторингу.

Література

1. Макаров Л.М. Холтеровское мониторирование / Макаров Л.М. – М.: Медпрактика, 2000. – 216 с.
2. Дабровски А. Суточное мониторирование ЭКГ / А. Дабровски, Б. Дабровски, Р. Пиотрович; [пер. с польск. Корнеев Н.В., Грабко Н.Н., Банникова С.Д.]. – М.: Медпрактика, 1998. – 208 с.
3. Лупенко С.А. Конструктивна математична модель сигналів серця на основі лінійних періодичних випадкових процесів та полів / С.А. Лупенко, Л.М. Щербак // Вісник Тернопільського державного технічного університету – Тернопіль: ТДТУ ім. І.Пулюя. – 2000. – № 4. – С. 101-110.
4. Литвиненко Я.В. Математична модель електрокардіосигналу для задач визначення його діагностично важливих зон / Я.В. Литвиненко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький: Навчальна книга, 2004. – № 2. – С. 86-93.
5. Berlad I., Shlitner A., Ben-Haim S., Lavie P. Power spectrum analysis and heart rate variability in stage 4 and REM sleep: evidence for state-specific changes in autonomic dominance / I.Berlad, A.Shlitner, S.Ben-Haim, P.Lavie // J. Sleep. Res. 1993; 2, 88.
6. Umali M.U., Hilton M.F., Kres S.P. Circadian and sleep stage influences on cardiac autonomic tone / M.U.Umali, M.F.Hilton, S.P.Kres // Sleep. 2000; 23: A26.
7. Драган Я.П. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів / Драган Я.П. – Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. – XVI+333 с.

Надійшла 22.5.2010 р.