

СИНФАЗНИЙ МЕТОД ОПРАЦЮВАННЯ ЕЛЕКТРОГАСТРОЕНТЕРОСИГНАЛУ

М. І. Тимчак, аспірант;

В. Л. Дунець, асистент;

О. В. Гевко, канд. мед. наук, доцент;

Л. Є. Дедів, канд. техн. наук, доцент,

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна;*

E-mail: asot@i.ua

На базі енергетичної теорії стохастичних сигналів використано синфазний метод для статистичного опрацювання електрогастроентеросигналу, який дасть змогу розширити можливості електрогастроентеросистем шляхом впровадження нового класу достовірних інформаційних ознак, що ними є кореляційні компоненти.

Ключові слова: шлунково-кишковий тракт електрогастроентеросигнал, синфазний метод, стаціонарні компоненти, взаємкореляційні зв'язки.

ВСТУП

Аналіз даних медичної наукової літератури свідчить про невпинне зростання захворювань травної системи [1], що спонукає медиків сконцентрувати зусилля на удосконаленні методів діагностики. Зокрема, насторожує значна поширеність порушень моторики шлунково-кишкового тракту, які супроводжують чисельну групу захворювань гастродуоденальної зони, біліарної системи, кишківника [2, 3], а також створюють суттєвий дискомфорт у пацієнтів з функціональною диспепсією, синдромом подразненого кишківника та після оперативних втручань на органах травлення [4, 5]. Тому, дана патологія створює суттєву медико-соціальну проблему і потребує удосконалення методів діагностики порушень моторно-евакуаторної функції травної системи.

До складу діагностичних методів моторики шлунково-кишкового тракту відносять: езофагогастродуоденоскопію, балонну кімографію, внутрішлунковий гама-лічильник, антродуоденальну манометрію, ультразвукове дослідження. Проте, незважаючи на їхню інформативність, вони володіють і рядом недоліків, зокрема: інвазивністю, трудномісткістю, шкідливим впливом Х-променів, ультразвукових хвиль, недостатньою інформативністю [6].

В останні роки увагу лікарів, в плані дослідження моторики органів травлення, привертає неінвазивний та інформативний метод – електрогастрографія [7, 8, 9].

ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ

З літературних джерел [7, 8, 9] відомо, що в комп'ютерних автоматизованих електрогастрографічних системах програмне забезпечення базується на методах опрацювання досліджуваних електрогастроентеросигналів (ЕГЕС), які розробляються на основі математичних моделей. Найпростіші методи опрацювання ЕГЕС ґрунтуються на дослідженні амплітудно-часових характеристик екстремальних точок (максимумів і мінімумів). За математичну модель в такому випадку використано детерміновану функцію. Зважаючи на те,

що ЕГЕС за своєю природою має випадковий характер, побудова його математичної моделі повинна ґрунтуватися на стохастичному підході.

У випадку стохастичного підходу, використовують часткові математичні моделі, а саме: адитивну, мультиплікативну та адитивно-мультиплікативну як поєднання детермінованої періодичної функції та стаціонарного в широкому розумінні випадкового процесу, проте ці моделі не дають змогу описати коливання у часі, що є суттєвим при дослідженні фазово-часової структури ЕГЕС з метою виявлення прояву змін у функціонуванні шлунково-кишкового тракту.

Згідно аналізу властивостей характеристик електрогастроентеросигналу та описаних властивостей періодично корельованих випадкових процесів у роботі [10] впливає, що математична модель процесу такого класу дає змогу адекватно описати ЕГЕС, а саме врахувати поєднання випадковості та періодичності сигналу. А тому, виходячи із статистики таких сигналів актуальною науковою задачею є розробка методів для визначення інваріантних інформаційних ознак електрогастроентеросигналу,.

СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД КОМП'ЮТЕРНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ЕЛЕКТРОГАСТРОЕНТЕРОСИГНАЛУ

4. Синфазний метод опрацювання електрогастроентеросигналу

Синфазний метод опрацювання ЕГЕС із дискретним часом є незначною модифікацією статистики стаціонарних випадкових процесів. Тому обґрунтування методів статистичного оцінювання характеристик базується на понятті \hat{h} -ергодичності, яка виражається як властивість випадкових процесів із дискретним часом [11].

Для ергодичності процесу із дискретним часом в цілому відносно середнього необхідно і достатньо, щоб векторний процес з дискретним часом був ергодичним:

$$\overset{o}{\xi}(n\Delta t) = \xi(n\Delta t) - \hat{m}_{\xi}^T(n\Delta t), \quad n = \overline{0, N-1} \quad (1)$$

де $\xi(n\Delta t)$ – послідовність ЕГЕС із дискретним часом;

Δt – крок дискретизації ($\Delta t \geq \frac{1}{2\Delta f}$, де Δf – частота дискретизації

ЕГЕС з умов теореми Котельникова);

n – номер відліку; N – довжина послідовності ЕГЕС $\xi(n\Delta t)$;

$\hat{m}_{\xi}^T(n\Delta t)$ – періодичне продовження математичного сподівання ЕГЕС

як послідовності $\xi(n\Delta t)$ із дискретним часом:

$$\hat{m}_{\xi}^T(n\Delta t) = \sum_{k=1, \overline{N}} \chi_{D_k}(n\Delta t) \hat{m}_{\xi}(n\Delta t + k\Delta t N_T), \quad n \in \overline{0, N-1} \quad (2)$$

де k – номер періоду;

N_T – кількість точок, які лежать в межах одного періоду ЕГЕС T ,

$$N_T = \frac{T}{\Delta t};$$

$$\chi_{D_k}(n\Delta t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } n\Delta t \in D_k \\ 0, & \text{якщо } n\Delta t \notin D_k \end{cases} \text{ – індикаторна функція;}$$

$D_k = [k\Delta t N_T, (k+1)\Delta t N_T)$ – часовий діапазон тривалості k -го періоду ЕГЕС; $\hat{m}_\xi(n\Delta t)$ – оцінка математичного сподівання ЕГЕС.

5. Блок-схема комп'ютерного опрацювання електрогастроентеросигналу

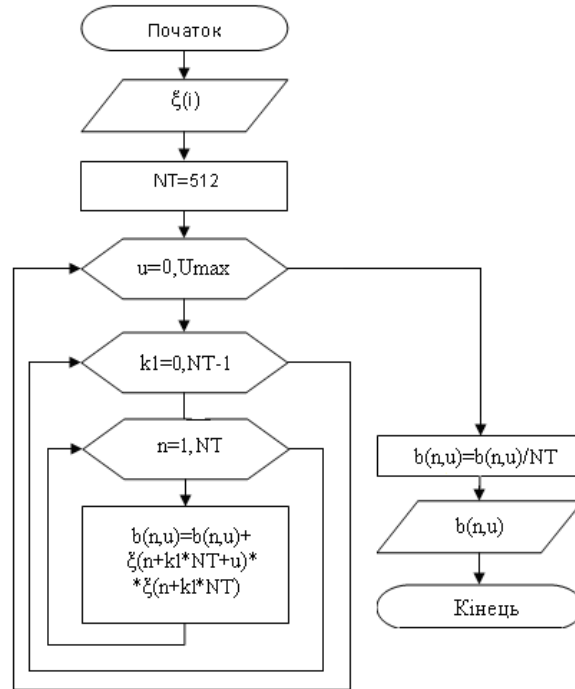


Рисунок 1 - Алгоритм формування стаціонарних компонент із центрованої послідовності ЕГЕС із дискретним часом

Опрацювання ЕГЕС як періодично корельованої випадкової послідовності із дискретним часом синфазним методом базується на тому, що ЕГЕС через дискретний період корельованості N_T розбивається на послідовності синфазних значень на ґратках виду $\{n\Delta t + kN_T\Delta t, k \in Z\}$, де для кожного $n\Delta t \in [0, N_T\Delta t)$ своя ґратка, а значення на цих ґратках утворюють стаціонарні та стаціонарно - зв'язані ергодичні випадкові послідовності.

На рисунку 1 позначено через: U_{\max} – максимальний зсув, N – довжина реалізації ЕГЕС, K – кількість кореляційних компонент та NT – період ЕГЕС.

Маючи масив стаціонарних компонент $\xi(k, n\Delta t) = \xi(n\Delta t + kN_T)$ обчислено масив оцінок їх взаємкореляційних функцій $\hat{b}_\xi(n\Delta t, u)$ (коваріаційні компоненти) згідно виразу:

$$\hat{b}_\xi(n\Delta t, u) = \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{N_T-1} \xi(n\Delta t + u + kN_T) \xi(n\Delta t + kN_T), \quad k \in Z \quad (3)$$

Від отриманих оцінок $\hat{b}_\xi(n\Delta t, u)$ обчислено оцінки кореляційних компонент $\hat{B}_k(u)$ згідно виразу:

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{N_T-1} \hat{b}_\xi(n\Delta t, u) e^{-j2\pi kn/N_T} . \quad (4)$$

Оцінки $\hat{B}_k(u)$ на відміну від оцінок $\hat{b}_\xi(n\Delta t, u)$ характеризуються стійкістю щодо часових зсувів і відображають фазово-часову структуру в частотній області.

Стаціонарні компоненти $\hat{B}_k(u)$ є кількісним показником оцінювання фазово-часової структури ЕГЕС, який дає змогу оцінити зміни сигналу в часі. Вважається, що будь-яка людська система, що в часі не змінює свої показники, знаходиться у нормальному стані, а в іншому випадку – патологічному. Тому дослідження фазово-часової структури дає можливість виявити момент прояву змін у роботі людської системи, що можна порівняти з раннім проявом будь-якої хвороби.

Грунтуючись на вищеперелічених операціях реалізації синфазного методу, розроблено алгоритм формування кореляційних ЕГЕС (рис.2).

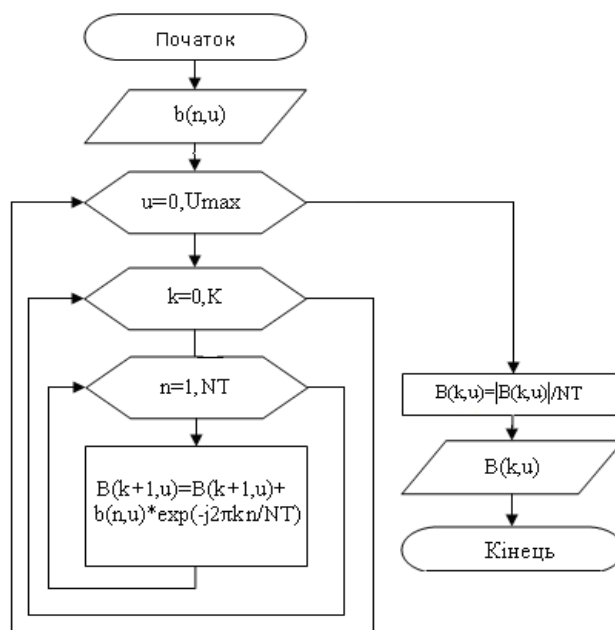


Рисунок 2 - Алгоритм формування кореляційних компонент ЕГЕС

6. Результати комп'ютерного опрацювання електрогастроентеросигналу

Використовуючи розроблені блок-схеми (рисунок 1, 2) опрацьовано ЕГЕС у нормі та патології з метою виявлення нових інформативних ознак.

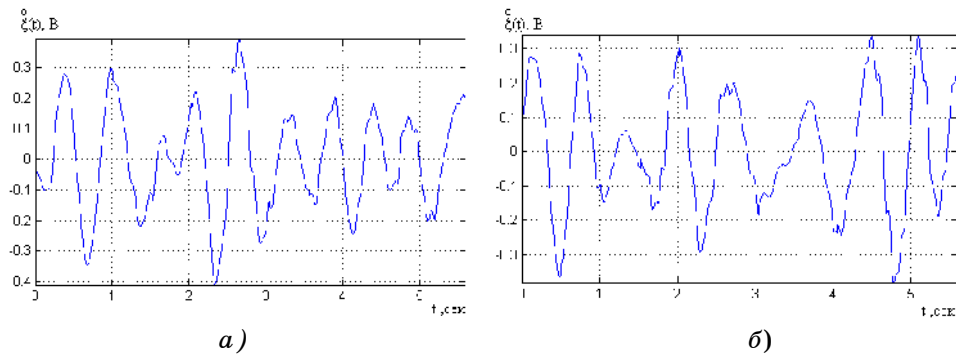


Рисунок 3 - Реалізація ЕГЕС: а) – норма; б) – патологія

Використовуючи алгоритм формування стаціонарних компонент із центровано послідовності ЕГЕС із дискретним часом, отримано результати за допомогою програмного середовища MatLab:

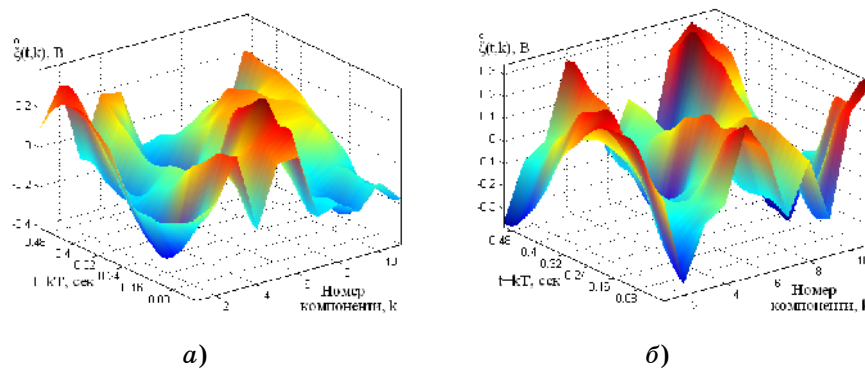


Рисунок 4 - Реалізація стаціонарних компонент ЕГЕС: а) – норма; б) – патологія

Для отримання інформативних ознак імовірнісних характеристик, які є показниками електрогастроентеросигналу, реалізованого у вигляді синфазного методу за допомогою програмного середовища MatLab:

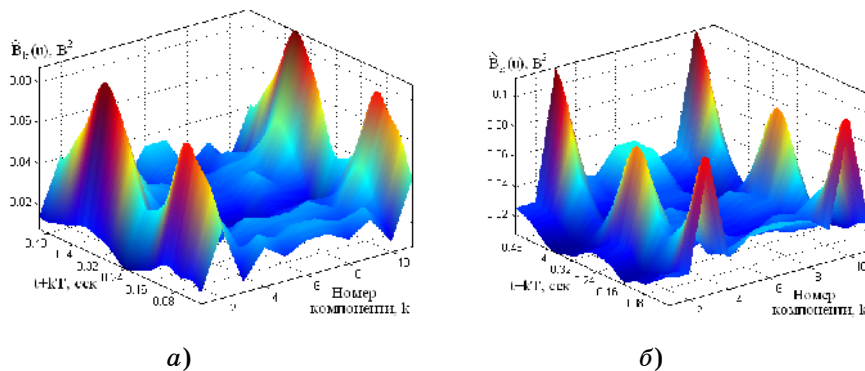


Рисунок 5 - Реалізація кореляційних функцій стаціонарних компонент ЕГЕС: а) – норма; б) – патологія

Для оцінювання кореляційних компонент (рисунок 5) використано оцінку математичного сподівання (усереднення по часових зсувах) обчислено за виразом:

$$M_u \left\{ \hat{B}_k(u) \right\} = \frac{1}{N_u} \sum_{u=1}^{N_u} \hat{B}_k(u), \quad u = \overline{1, N_u}, \quad k = \overline{1, N_k}, \quad (5)$$

де k – номер спектральної компоненти ЕГЕС, u – зсув, N_u – кількість зсувів, N_k – кількість компонент.

Реалізацію оцінок кореляційних компонент ЕГЕС зображено на рисунку 6.

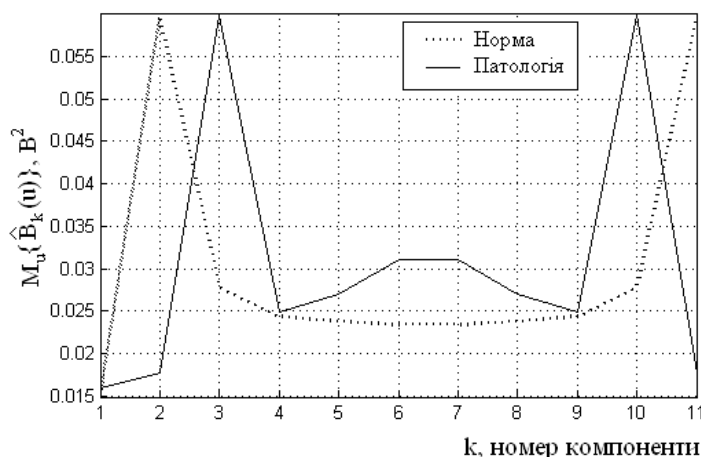


Рисунок 6 - Реалізація усереднених кореляційних компонент ЕГЕС

На рисунку 6 видно, що значення максимумів оцінок кореляційних компонент ЕГЕС (норма) зосереджені на 2 та 10 номерах, а для патології – 3 та 11, що свідчить про чітку зміну у функціонуванні шлунково-кишкового тракту людини (ранній прояв патології).

Отже, отримані усереднені оцінки кореляційних компонент ЕГЕС дають змогу розширити можливості ранньої діагностики шлунково-кишкового тракту системи шляхом впровадження нових інформативних характеристик – кореляційних компонент.

SUMMARY

A COMMON-MODE METHOD OF PROCESSING AN ELECTRIC GASTROENTEROLOGICAL SIGNAL

M. I. Tymchak, V. L. Dunets, O. V. Gevko, L. Ye. Dediv
 Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University,
 56, Rus'ka Street, 46001, Ternopil, Ukraine;
 E-mail: asot@i.ua

On the basis of the stochastic energy signals theory the authors used a common-mode method for an electric gastroenterological signal statistical processing that will help to expand the opportunities of the electrogasteral systems by introducing a new class of probable informative characteristics - correlation components.

Keywords: *gastrointestinal tract, electrogastroenterosignal, common-mode method, stationary components interact correlations.*

РЕЗЮМЕ

СИНФАЗНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОГАСТРОЭНТЕРОСИГНАЛА

*М. И. Тымчак, В. Л. Дунец, О. В. Гевко, Л. Е. Дедив,
Тернопольский Национальный технический университет им. И. Пулюя,
ул. Руська, 56, 46001, Тернополь, Украина;
E-mail: asot@i.ua*

На базе энергетической теории стохастических сигналов использован синфазный метод для статистической обработки электрогастроэнтеросигнала, что дает возможность расширить информативность электрогастросистем путем внедрения нового класса вероятных информативных характеристик, каковыми являются корреляционные компоненты.

Ключевые слова: электрогастроэнтеросигнал, синфазный метод, стационарные компоненты, корреляционные связи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мониторинг распространенности заболеваний внутренних органов на примере патологии пищеварительной системы / Т. П. Денисова, В. А. Шульдяков, Л. А. Тюльтеява, Ю. В. Черненко, Л. Н. Алипова, Л. А. Саджая // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2011. – Т. 7, № 4. – С. 772-776.
2. Минушкин О. Н. Нарушения моторики желудочно-кишечного тракта в терапевтической практике / О. Н. Минушкин, Л. В. Масловский, Н. Ю. Аникина // Клинические перспективы в гастроэнтерологии, гепатологии. - 2006. - № 3. - С. 11-15.
3. Лоранская И. Д. Изучение моторики гастродуоденальной зоны у больных с заболеваниями билиарного тракта/ И. Д. Лоранская, И. Н. Кабанова, В. В. Вишневская // Гастроэнтерология Санкт-Петербурга. – 2003. – № 2-3. – С. 97.
4. Ивашкин В. Т. Физиологические основы моторно-эвакуаторной функции пищеварительного тракта / В. Т. Ивашкин, А. С. Трухманов, И. В. Маев // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. – 2007. – № 5. – С. 4-10.
5. Влияние операции холецистэктомии на моторику органов желудочно-кишечного тракта/ В. С. Савельев, М. С. Магомедов, В. И. Ревякин, П. А. Кириенко, А. В. Миронов, В. А. Петухов // Эндоскопическая хирургия. – 2007. – № 3. – С. 32-38.
6. Банникова Ю. А. Радиация. Дозы, эффекты, риск / Ю. А. Банникова. – М., 1989. – 70 с.
7. Кузін А. І. Методи та апаратура неінвазивних досліджень електричної активності шлунково-кишкового тракту : автореф. дис. канд. техн. наук / А. І. Кузін. - Харк. нац. ун-т радіоелектрон., 2002. – 19 с.
8. Ли Л. Г. Информативные показатели периферической электрогастроэнтерограммы в оценке функционального состояния желудка и тонкой кишки : дис. ... канд. мед. наук / Л. Г. Ли. – М. : 2009. – 135 с.
9. Электрогастроэнтерография в хирургической гастроэнтерологии / В. Н. Биряльцев, А. В. Бердников, В. А. Филиппов и др. – Казань, 2003. – 156 с.
10. Тимчак М. Математична модель електрогастроентеросигналу для підвищення достовірності електрогастроентеросистем / М. Тимчак, М. Хвостівський, Л. Дедів // Вісник Національного університету «Львівська Політехніка». – 2012. – № 744. – С. 181-186.
11. Драган Я. П. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів / Я. П. Драган. – Львів : Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. – XVI+333 с.

Надійшла до редакції 10 жовтня 2013 р.