

КОМП'ЮТЕРНЕ ОПРАЦЮВАННЯ ЕЛЕКТРОРЕТИНОСИГНАЛУ КОМПОНЕНТНИМ МЕТОДОМ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ РАНЬОЇ ДІАГНОСТИКИ ЗОРОВОГО АНАЛІЗАТОРА

Опрацьовано електроретиносигнал як періодично корельовану випадкову послідовність компонентним методом, який дає змогу оцінити стан зорового аналізатора з врахуванням поєднання властивостей періодичності із стохастичністю, що є важливим при дослідженні змін фазово-часової структури електроретиносигналу з метою виявлення моменту прояву ранніх змін в функціонуванні сітківки ока. На основі результатів комп'ютерного опрацювання в середовищі Matlab 7.0 встановлено, що отримані оцінки спектрально-коваріаційних компонент є інформативно-інваріантними ознаками електроретиносигналу, котрі відповідають функціональному стану сітківки ока людини (норма або патологія).

It is worked out electroretinosignal as the periodically correlated casual sequence by a component method which enables to estimate the state of visual analyzer taking into account combination of properties of periodicity from stochastic, that is important at research of changes of phase-sentinel structure of electroretinosignal with the purpose of exposure of moment of display of early changes in functioning of retina of eye. On the basis of results of the computer working in the environment of Matlab 7.0 set, that estimations are got a spectral-covariation component is the informing invariant signs of electroretinosignal, which answer the functional state of retina of eye of man (norm or pathology).

Вступ

Зоровий аналізатор займає основне місце серед інших сенсорів людського організму, забезпечуючи сприймання близько 85% інформації з навколишнього середовища. Суцільна комп'ютеризація, погана екологія та пасивний спосіб життя є тими факторами, які спричиняють негативний вплив на його стан. Тому важливим завданням сучасної медицини є рання діагностика та запобігання очних захворювань не тільки в Україні, але й у всьому світі.

На актуальність діагностики зорової системи за електроретиносигналом (ЕРС), який є відгук сітківки ока людини на світловий спалах вказували автори багатьох робіт медичного спрямування, такі як Шамшинова А.М., Волкова В.В., Богословский А.И., Бизов А.Л., Зислина Н.Н. та ряд інших науковців. Зокрема встановлено, що регулярна діагностика стану сітківки ока за електроретиносигналом, дає змогу виявити в ній функціональні зміни на ранній стадії і своєчасно провести профілактичні захо-

ди по її реабілітації, а у випадку патологічних порушень запобігти розвитку хвороби відповідним лікуванням.

Ефективність вибору профілактично-терапевтичних заходів залежить від наявності відповідної діагностичної системи, яка базується на адекватній математичній моделі і дає змогу автоматизовано з високою точністю та достовірністю визначити місце ураження і відстежити динаміку перебігу хвороби.

На сьогодні можна виділити типи математичних моделей електроретиносигналів, які використовуються в діагностичних системах – детерміновані та стохастичні. У праці Яворського Б.І., Юзьківа А.В. [1] запропоновано модель електроретиносигналу у вигляді детермінованої функції, яка має прості та відомі алгоритми для її реалізації. Проте така модель не знайшла використання в сучасних діагностичних системах тому, що має обмежені можливості щодо опису реальних сигналів, а саме не враховує у своїй структурі властивість стохастичності (впливає

із фізичної природи породження сигналу (мікрорезонанс породження)). Електроретиносигнал є складним за своєю природою періодичним, що зумовлено методикою відбору, та стохастичним процесом. Відома низка праць Паламара М.І., Мацюка О.В. та Рілка А.Д. [2-4] в яких для опису електроретиносигналу запропоновано ряд стохастичних моделей (лінійний випадковий процес та адитивна суміш детермінованої і випадкової складових), які дають змогу врахувати у своїй структурі властивість стохастичності та періодичності. Про ці моделі не враховують у своїй структурі поєднання властивостей стохастичності із періодичністю, що є важливим при дослідженні змін фазово-часової структури електроретиносигналу з метою виявлення моменту прояву ранніх змін в функціонуванні сітківки ока.

В праці Драгана Я.П., Хвостівського М.О., Осухівської Г.М. [5] на основі аналізу макромеханізму породження ЕРС обґрунтовано його модель як нестационарний випадковий процес у вигляді періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП), яка враховує у своїй структурі поєднання властивостей періодичності із стохастичністю

Постановка задачі та її розв'язок

На рис. 1 зображено зареєстровані системою „ДСЗО-1” (Україна, розробники - Ткачук Р.А., Паламар М.І., Мацюк О.В.) ЕРС пацієнту А з нормою та пацієнту Б з патологією (центральна дегенерація сітківки ока).

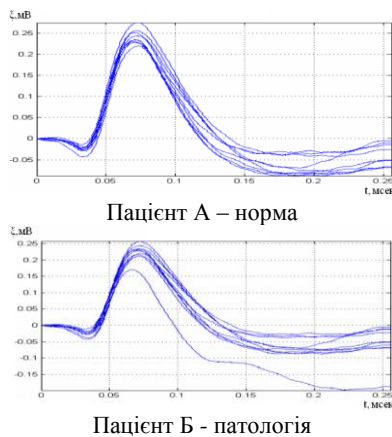


Рис. 1. Зареєстровані електроретиносигнали

Експериментально зареєстровані ЕРС сітківки ока людини (рис.1) у своїй структурі поєднують періодичність, яка обґрунтовується для таких хвиль моделі на основі властивостей реальних сигналів.

Відповідно до методики реєстрації сигналу, ЕРС є відгуком сітківки ока на серію світлових спалахів одного і того самого ока, тому природно ці відгуки ЕРС зобразити на одній осі часу (макромеханізм). Таке подання дає можливість побачити залежність зміни у часі відгуку сітківки ока від спалаху до спалаху. Оскільки ЕРС, в даному випадку, є множиною відгуків, зсунутих у часі один відносно одного на сталий період $T = T_{\text{ERG}}$, тому його зображення подано у вигляді:

$$\xi(t) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \chi_{D_k}(t) \cdot \xi_{\text{ERG}}(t + kT), \quad (1)$$

де $\chi_{D_k}(t) = \begin{cases} 1, & t \in D_k \\ 0, & t \notin D_k \end{cases}$ - індикаторна функція, $D_k = [kT, (k+1)T)$; T - період одного відгуку ЕРС (спалаху), який сталою величиною; ξ_{ERG} - випадковий процес в межах одного періоду $T = T_{\text{ERG}}$ (k -ий відгук ЕРС).

На рис.2. зображено ЕРС на одній осі часу в залежності від світлових спалахів, де 1 – крива показує момент часу світлового спалаху (відповідно до умов проведення реєстрації ЕРС спалах є періодичним), 2 – електроретиносигнал враховує періодичність спалахів, яка забезпечує однаковість фаз процесу породження сигналу через інтервал часу, який рівний фіксованому періодові спалаху.

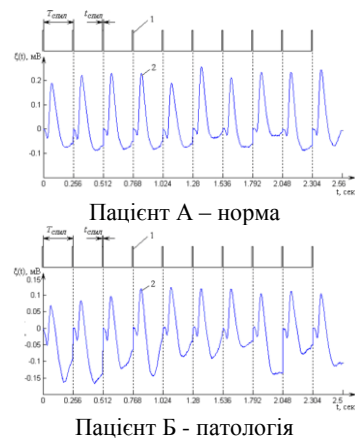


Рис. 2. Зображення ЕРС на одній осі часу при часовій періодичності світлових спалахів (макромеханізм породження).

Зображення ансамблю ЕРС у вигляді його періодичного продовження (рис.2) враховує у своїй структурі поєднання властивостей періодичності із стохастичністю, і тим самим дає можливість врахувати взаємкореляційні

зв'язки між різними реакціями сітківки ока однієї і тієї ж серії спостережень, що було неможливо у випадку традиційного подання однотипної серії реакцій у вигляді ансамблю реалізацій.

На базі математичної моделі ЕРС як ПКВП поставлено задачу використання компонентного методу для опрацювання електроретиносигналу із врахуванням його макромеханізму породження. Застосування цього методу дасть змогу розширити можливість ранньої діагностики стану сітківки ока людини шляхом впровадження в область офтальмодіагностики нового класу інформативних ознак.

Методи аналізу імовірнісних характеристик математичної моделі електроретиносигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу побудовано, виходячи з розглянутих властивостей множин співфазних значень ЕРС, що дає змогу за однією реалізацією \hat{h} -ергодичного ЕРС оцінити фазову структуру його коваріації і середнього, тобто зміну їх у часі, а не лише їх середні значення. Отримані послідовності відліків через період корельованості ЕРС є не лише стаціонарними та стаціонарно зв'язаними, але і мають властивості ергодичності та ергодичної зв'язаності. Умову ергодичності такого процесу сформульовано як ергодичність та ергодичну зв'язаність його стаціонарних компонент.

Компонентний метод базується на тому, що характеристики ЕРС є періодичними функціями від часу, а тому можуть бути представлені за допомогою розкладів типу рядів Фур'є:

$$\hat{b}_\xi(t, u) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \hat{B}_k(u) \exp\left(ik \frac{2\pi}{T} t\right), \quad (2)$$

де T – період корельованості ЕРС;

$\hat{b}_\xi(t, u)$ – оцінка параметричної коваріації.

Коефіцієнти B_k розкладу (1), які називаються також компонентами характеристик, обчислюються за формулою:

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{b}_\xi(t, u) \exp\left(ik \frac{2\pi}{T} t\right) dt. \quad (3)$$

Спектрально-коваріаційні компоненти $\hat{B}_k(u)$ є кількісним показником оцінювання фазово-часової структури ЕРС, який дають змогу оцінити зміни сигналу в часі. Як відомо, що будь-яка людська система, яка в часі не змінює свої показники, можна вважати в нормі, а в іншому випадку – патологія. Тому, дослідження фазово-часової структури дає можливість виявити

момент прояву змін в роботі людської системи, що можна порівняти із раннім проявом будь-якої хвороби.

Використовуючи вираз (3) розроблено структуру алгоритму опрацювання дискретного ЕРС компонентним методом (рис.3).

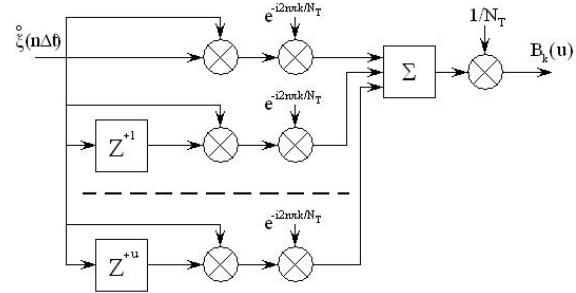


Рис. 3 Структура реалізації алгоритму опрацювання ЕРС компонентним методом

Аналіз отриманих результатів

Враховуючи структуру алгоритму опрацювання ЕРС компонентним методом (рис.1) отримано результати, які наведені на рис.4.

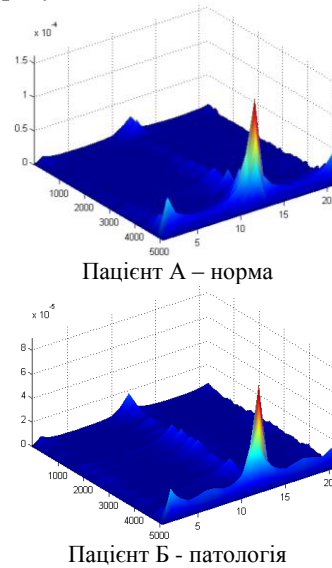


Рис. 4. Результати оцінювання спектрально-коваріаційних компонент (вісь X – номер частоти, Y – номер компоненти, Z – амплітуда, мВ²)

Для оцінювання спектральних компонент (рис. 4) використано оцінку математичного сподівання:

$$M_u \{\hat{B}_k(u)\} = \frac{1}{N_u} \sum_{u=1}^{N_u} \hat{B}_k(u), u = \overline{1, N_u}, k = \overline{1, N_k}, \quad (4)$$

де k - номер спектрально-коваріаційної компоненти, u - зсув, N_u - кількість зсувів, N_k - кількість частот.

Реалізації оцінок математичних сподівань для спектральних компонент наведено на рис. 5.

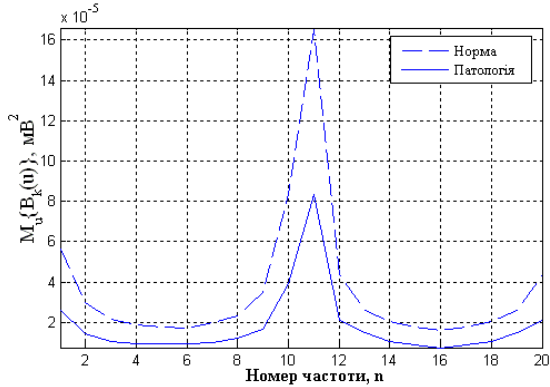


Рис. 5 Оцінки математичного сподівання спектрально-коваріаційних компонент

Із отриманих оцінок математичного сподівання спектрально-коваріаційних компонент компонентним методом на рис.5 видно, що основні піки компонент зосередженні на одних і тих самих частотах, а різняться між собою лише за амплітудою, що свідчить про чітку зміну в функціонуванні зорової системи, а саме в сітківці (норма, катаракта, центральна дегенерація сітківки чи інший вид патології).

У результаті комп'ютерного опрацювання електроретиносигналу компонентним методом в середовищі Matlab 7.0 отримано нові інформативні ознаки – спектрально-коваріаційні компоненти, які фактично відповідають функціональному стану сітківки ока людини, і тим самим дають змогу розширити можливості для медичної офтальмодіагностики в області офтальмології.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Юзьків А.В., Яворський Б.І. Математичне моделювання електроретинографічних сигналів // Вісник ТДТУ, том 2, 1997. – С.39-45.
2. Мацюк О.В. Система для діагностики захворювань зорового аналізатора: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.11.16 / Нац. авіац. ун-т. – Київ, 2001. – 17 с.
3. Паламар М.І. Комп'ютерні вимірювальні системи для дослідження біопотенціалів зорового аналізатора: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.11.05 / Нац. ун-т „Львівська політехніка”. – Львів, 1998. – 17 с.

4. Rilk A.J. The Flicker Electoretinogram in Phase Space: Embeddings and Techniques. Aalen. – 2003. – 93p.
5. Драган Я.П., Осухівська Г.М., Хвостівський М.О. Обґрунтування математичної моделі електроретинографічного сигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу // Комп'ютерні технології друкарства. – Львів: УАД. – 2007. № 18. – С. 129-138.
6. Драган Я. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів: – Львів, Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. –XVI+333с.