

**ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА ПРИ
СИМЕТРИЗАЦІЇ АНСАМБЛЮ ВИБІРОК БІОСИГНАЛУ ДЛЯ
ОЦІНЮВАННЯ ЙОГО СТАТИСТИК¹**

Цуприк Г. Б.

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль, Україна, switgalina@mail.ru*

**USING HILBERT TRANSFORM FOR BIOSIGNAL SAMPLES ANSAMBLE
STATISTICAL ESTIMATION**

Tsupryk H.B.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, switgalina@mail.ru

Вступ

При контролі, діагностиці функціонального стану, керуванні функціями біооб'єкту тощо все більшого використання знаходять методи його активних електрофізіологічних досліджень. При цьому біооб'єкт зазнає тестового подразнення, а відгук на це подразнення використовується за носій інформації (біосигнал) про стан біооб'єкту. Ефективним тоді є використання низькоінтенсивного подразнення біооб'єкту (з інформаційним впливом на біооб'єкт) [1, 2]. Оскільки відношення потужності відгуку біооб'єкту до потужності шумів тоді значно знижується [3], зростає значення початкової (прихованої, латентної) частина відгуку [4], яке стохастично змінюється при кожному подразненні, то виникає необхідність забезпечення когерентності відгуків для оцінювання його статистик.

В медичній практиці частіше використовуються морфологічні параметри біосигналів [5]. Суттєві вимоги до швидкості оцінювання цих параметрів та достовірності отриманих оцінок їх викликають необхідність автоматизації оцінювання. Крім цього, якість біомедичного активного дослідження (його ефективність) потребують високої роздільної здатності та точності. Їх досягнення викликає необхідність врахування некогерентності відгуків біооб'єкту в ансамблі — спеціального попереднього опрацювання цього ансамблю перед оцінюванням статистичних характеристик відгуку.

Постановка задачі

Типовою процедурою оцінювання статистичних характеристик є усереднення (когерентна фільтрація, оцінювання початкового моменту першого порядку функції розподілу імовірності значень біосигналу) [5]. Для врахування природної нестационарності біосигналів (для підвищення якості оці-

¹ Електронний варіант статті: <http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1065>

нювання та достовірності отриманої оцінки відгуку) виникає необхідність в спеціальному забезпеченні когерентності відгуків в ансамблі. З оглядом на це потрібно забезпечити автоматизовану синхронізацію відгуків в ансамблі шляхом попередньої обробки цього ансамблю.

Основна частина

Для дослідження використано комп'ютерну модель ансамблю зашумлених, коливних зі заспокоєнням, прихованих на початку відгуків біосигналів x_{km} ($k = \overline{1, K}$ — номер відгуку в ансамблі, $m = \overline{1, M}$ — номер відліку відгуку, $m \triangleq mT_d$, T_d — період дискретизації відгуку):

$$x_{km} = \begin{cases} n_m, & 1 \leq m \leq \tau_k \\ \exp[-\alpha(m - \tau_k)] \sin[2\pi(m - \tau_k) / \mu] + n_m, & \tau_k \leq m < M, \end{cases} \quad (1)$$

де μ — кількість відліків на період колювання; $n_m \in \mathbb{R}$, $\tau_k \in \{1, 2, 3, \dots\}$ — різні нормальні дискретні процеси з математичними сподіваннями та дисперсіями m_n , σ_n^2 , й m_τ , σ_τ^2 відповідно, рисунок 1.

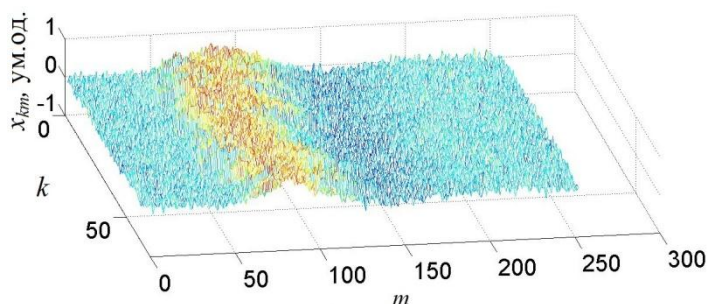


Рис. 1. Графік ансамблю (1) відгуків, $K=64$, $M=256$ (ум.од. — умовні одиниці)

За ансамблем (1) отримано оцінки математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення $m_x(l) \pm \sigma_x(l)$, $l = \overline{1, M}$, відгуку. Встановлено, що оцінка середнього середньоквадратичного відхилення

$$m_{\sigma_x} = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M \sigma_x(l), \quad (2)$$

для некогерентного ансамблю є більшою за таку ж оцінку когерентного ансамблю (коли при оцінюванні враховано відомі значення τ_k). Збільшення

кількості K відгуків не є ефективним для покращення оцінки (2), рисунки 2, 3.

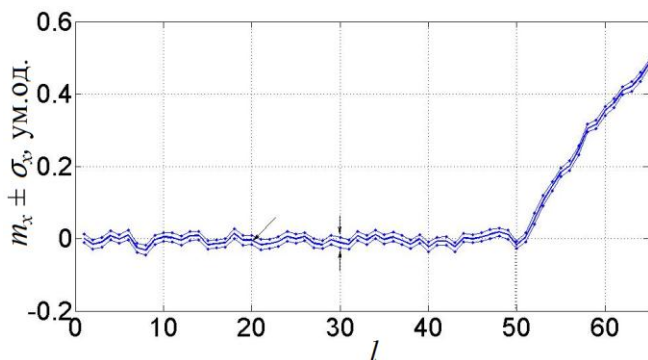


Рис. 2. Графіки оцінок $m_x(l) \pm \sigma_x(l)$ початку відгуку; $m_n = 0$, $\sigma_n^2 = 0.1$, $\tau_k = 50$

Для автоматизованого забезпечення когерентності використано властивість симетрії ансамблю когерентних відгуків [6]. Для симетризації кожен відгук циклічно зсувається поки значення його стане $\geq h$ — оптимального порогового значення. Таким чином, відгуки реест-

руються, починаючи з номера $m \approx \tau_k \triangleq m_k$ відліку. Оптимальне значення h шукається оптимізаційною процедурою

$$\arg \min_{\substack{h \in \{x_{km}\}, k=\overline{1, K}, \\ m=1, 2, 3, \dots}} F(h), \quad (3)$$

де функціонал $F(h) = m\sigma_x \Big|_h$. Тоді кожен відгук симетризованого ансамблю починатиметься з відліку $x_k m_k$ несиметризованого ансамблю, де m_k знайдено при оптимізації (3). Складність такої оптимізаційної процедури комбінаторна, для практичного використання вона непридатна.

Для пошуку менш складного методу забезпечення когерентності (синхронізації) відгуків досліджено ансамблі: (а) — без попередньо забезпеченої когерентності відгуків, рисунок 3, (б) — з когерентністю, отриманою

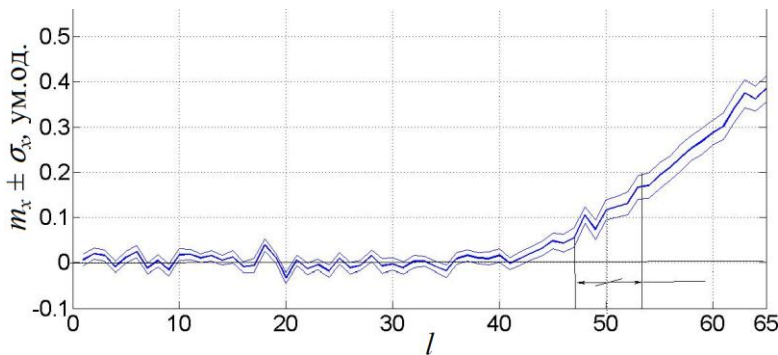


Рис. 3. Графіки оцінок $m_x \pm \sigma_x$ початку відгуку;

$$m_n = 0, \sigma_n^2 = 0.1, m_\tau = 50, \sigma_\tau^2 = 20$$

при використанні евристичного виразу порогу $h = m_x(l) + \sigma_x(l)$, (4) та (в) — з попереднім перетворенням Гільберта $\mathbf{H}\{x_{km}\} = \mathbf{X}_{km}$ ансамблю та використанням амплітудних характеристик $\mathbf{x}_{km} = |\mathbf{X}_{km}|$ його для знаходження $m_k \triangleq J_k$, методом (б) для подальшої синхроніза-

ції відгуків в ансамблі x_{km} .

Вузькосмуговість відгуку та властивості перетворення $\mathbf{H}\{x_{km}\}$ Гільберта [7] дають змогу обґрунтувати використання його для представлення ансамблю та оцінювання амплітудних характеристик [8] цього ансамблю.

Алгоритм (в) автоматизованого визначення індексів J_k для синхронізації відгуків в ансамблі методом (б), такий:

- 1 — ввести ансамбль відгуків $\{x_{kj}, k = \overline{1, K}, j = \overline{1, J}\}, k=1$;
- 2 — визначити \mathbf{x}_{km} ;
- 3 — оцінити математичне сподівання m_x та σ_x ;
- 4 — визначити значення порогу h ;
- 5 — вибрати k -ту амплітудну характеристику з \mathbf{x}_{km} ;
- 6 — $j=1$;
- 7 — $\mathbf{x}_{kj} < h$;
- 8 — так, $j=j+1$, перейти на крок 10;
- 9 — запам'ятати значення $J_k=j$;
- 10 — $k > K$;

- 11 — ні, $k=k+1$, перейти на крок 5;
- 12 — завершити.

Для оцінювання якості методів (а, б, в) синхронізації використано статистичні випробування їх. Для ансамблів відгуків отримано різні значення виразу (2), який вибрано за критерій якості. На рисунку 4 наведено функції

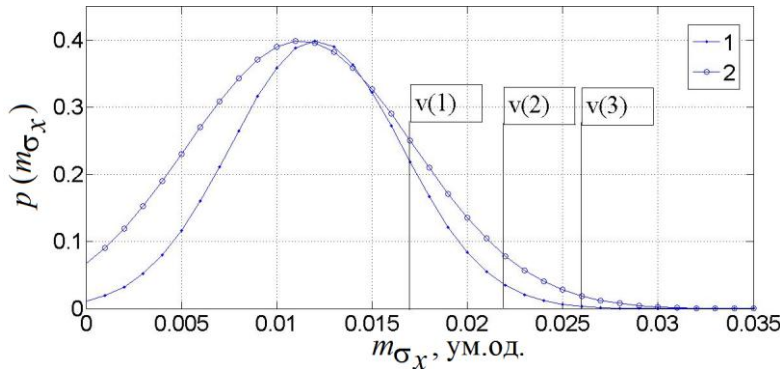


Рис. 4. Графіки розподілу густини ймовірності значень ССКВ — середнього m_{σ_x} середньоквадратичного відхилення $\hat{\sigma}_x$; $v(1-3)$ — значення m_{σ_x} при ймовірностях $P_f=0.001, 0.01, 0.1$ помилкового рішення що метод синхронізації придатний

густини розподілу ймовірності $p(m_{\sigma_x}, \hat{m}_x, \hat{\sigma}_x^2)$ значень (2) отриманих при статистичному 16-кратному випробуванні оцінювання математичного сподівання \hat{m}_x та середньоквадратичного відхилення $\hat{\sigma}_x$ за ансамблями несинхронізованих (графік 1) та синхронізованих (графік 2) відгуків. Отримано

сім'ю $P_d(m_{\sigma_x})|_{P_f}$ графіків залежності значень ймовірності прийняття рішення, що метод синхронізації придатний, від значень середнього середньоквадратичного відхилення, при ймовірностях $P_f = 0.001, 0.01, 0.1$, що це рішення помилкове (тобто, що нки більшого середньоквадратичного відхилення від \hat{m}_x будуть зустрічатися частіше).

Ансамбль відгуків:	P_d
когерентних — (а)	0.8112
когерентних — (б)	0.8204
когерентних — (в)	0.8248

У таблиці наведено ймовірності P_d для значення $m_{\sigma}=0.26$ та $P_f=0.01$. Таким чином, використано критерій Неймана-Пірсона статистичної теорії вибору рішення про якість методів синхронізації некогерентних та когерентних ансамблів x_{km} (за наведеними методами забезпечення когерентності; $K = 64, M = 256, \alpha = 0.02, \mu = 128$, шум n_m з матсподіванням $m_n=0$ та дисперсією $\sigma_n^2=0.1$, матсподівання $m_{\tau}=20$, дисперсія $\sigma_{\tau}^2=5$).

Висновки

Представлення ансамблю вибірок біосигналу його перетворенням Гільберта надає змогу покращити якість оцінювання відгуку.

Запропоновані методи (б, в) синхронізації відгуків значно простіші за метод прямого перебору величин зсувів відгуків в ансамблі.

Використанням комп'ютерного моделювання та статистичного випробування підтверджує достовірність висунутих припущень для випадку розподілу ймовірностей значень латентних періодів відгуків та адитивних шумів типу гаусових.

Перелік посилань

1. Rojas J. C. Low-level light therapy of the eye and brain / J. C. Rojas, F. Gonzalez-Lima // *Eye and Brain*. – 2011. – No 3. – P. 49–67.
2. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа / А.С. Пресман. – М. : Наука, 1968. – 288 с.
3. Цуприк Г.Б. Повышение эффективности электроретинографической системы / Г.Б. Цуприк, Р.А. Ткачук, Б.И. Яворский // *УСиМ*. – 2013. – №4 (246). – с. 33–40.
4. Alpern M. Relation of visual latency to intensity / M. Alpern // *AMA Arch Ophtalmol*. – 1954. – Vol. 51, № 3. – P. 369–374.
5. Armstrong R. A. Statistical guidelines for clinical studies of human vision / R.A. Armstrong, L.N. Davies, M.C.M. Dunne, B. Gilmartin // *Ophthalmic Physiol. Opt.* – 2011. – No 31. – P. 123–136.
6. Yavorskyu B. Application of the Principle of Symmetry for Synchronization of Biosignals in their Sample / B. Yavorskyu // *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science : 12th International Conference TCSET'2014*. – Lviv-Slavske, 2014. – P. 714.
7. Щербак Л.М. Статистична фазометрія: наукова монографія / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак. – Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет, 2009. – 383 с.
8. Щербак Л.М. Застосування перетворення Гільберта у фазометрії / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак // *Технологические системы*. – 2004. – №2. – с.50–55.

References

1. Rojas J. C. and Gonzalez-Lima F. (2011) Low-level light therapy of the eye and brain, *Eye and Brain*, no. 3, pp.49–67.
2. Presman A. S. (1968) *Elektromagnitnye polja i zhyvaja priroda* [Electromagnetic fields and nature], Moskow, Nauka, 288 p.
3. Tsuprik H.B., Tkachuk R.A. and Yavorskij B.I. (2013) *Povysheniye effektivnosti elektroretinograficheskoy sistemy* [Increase of electroretinographic system efficiency], *International Scientific Journal USiM*, no. 4 (246), pp. 33–40.
4. Alpern M. (1954) Relation of visual latency to intensity, *AMA Arch Ophtalmol.*, Vol. 51, No. 3, pp.369–374.
5. Armstrong R.A., Davies L.N., Dunne M.C.M. and Gilmartin B. (2011) Statistical guidelines for clinical studies of human vision, *Ophthalmic Physiol. Opt.*, no. 31, pp.123–136.
6. Yavorskyu B. (2014) Application of the Principle of Symmetry for Synchronization of Biosignals in their Sample, *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, TCSET'2014*, Lviv-Slavske, p. 714.
7. Shcherbak L.M. and Kuts Yu.V. (2009) *Statystychna fazometrija* [Statistical phase-meter], Ternopil State Technical University, 383 p.
8. Shcherbak L.M. and Kuts Yu.V. (2004) *Zastosuvannja peretvorennya Hilberta u fazometriji* [Using the Hilbert transform in phase-meter], *Technological Systems*, no. 2, pp. 50–55.

Цуприк Г. Б. **Використання перетворення Гільберта при симетризації ансамблю вибірок біосигналу для оцінювання його статистик.** Досліджено методи забезпечення когерентності відгуків біооб'єкту на подразнення у їх генеральній сукупності (ансамблі). Наведено результат комп'ютерного моделювання статистичних випробувань. Виявлено підвищення якості оцінювання математичного сподівання відгуку при використанні перетворення Гільберта ансамблю відгуків. Результати досліджень використано для автоматизації інформаційно-аналітичних систем активних досліджень біооб'єктів.

Ключові слова: біооб'єкт, подразнення, відгук, перетворення Гільберта, когерентна обробка, якість оцінки.

Цуприк Г. Б. **Использование преобразования Гильберта при симметризации ансамбля выборок биосигнала для оценивания его статистик.** Исследованы способы обеспечения когерентности откликов биообъекта на его раздражение в их генеральной совокупности (ансамбле). Представлены результаты компьютерного моделирования статистических испытаний. Обнаружено повышение качества оценивания математического ожидания отклика при использовании преобразования Гильберта ансамбля откликов. Результаты исследований использованы для автоматизации информационно-аналитических систем активных исследований биообъектов.

Ключевые слова: биообъект, раздражение, отклик, преобразование Гильберта, когерентная обработка, качество оценки.

Tsupryk H. B. **Using Hilbert Transform for biosignal samples ansamble statistical estimation.**

The method of electrophysiological active research of biological object is often used to control and diagnose the functional state, to correct functions of this object. In particularly, usage of low level light intensity (LLLI) for stimulation the biological object (information influence on biological object) is effective enough. The tendencies of light intensity reducing are caused by necessity as comfortable conditions for biological object so and (in concordance with Weber-Fechner's law) for increasing informativeness of response of that biological object. However, the ratio of response power to the noise power (RRN) is decreasing strongly after that. Decreasing intensity of stimulation is causing increasing of the initial (latent) part of the response of bio-object. In addition, the length of latent parts responses are stochastic. Therefore, there is a need of statistical estimation ensemble of these responses with aim to improve RRN. The standard method estimating of the response is the averaging of the responses, estimating the moment of first order of probability distribution function of values the responses. Estimating statistical characteristics of the response of bioobject on to LLLI stimulation using statistical processing of ensemble of the responses is the problem. Using interactive synchronization procedures, and synchronization automation by using perfusing blood or by heart rhythm greatly complicates both hardware and software.

In this paper the ways for ensure coherences of the responses after the excitations of biological object which are in the general sample (in the ensemble) had been explored. The results of computer simulation of statistical test are obtained. Improvement of the quality of estimation of the mathematical expectation of ensemble of responses after Hilbert transform is detected. The results are used to automate the information-analytical systems of active research of biological objects.

Keywords: biological object, excitation, response, Hilbert transform, coherence processing, quality estimate.