

## **ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА ПРИ СИМЕТРИЗАЦІЇ АНСАМБЛЮ ВИБІРОК БІОСИГНАЛУ ДЛЯ СТАТИСТИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК**

*Цуприк Г. Б.*

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
м. Тернопіль, Україна*

При контролі, діагностиці функціонального стану, керуванні функціями біооб'єкту тощо знаходять все більшого використання 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 їх параметрів та достовірності отриманих оцінок викликають необхідність автоматизації оцінювання. Крім цього, якість біомедичного дослідження (його ефективність) потребують високої роздільної здатності, точності. Досягнення їх супроводжується потребою врахування стохастичності, нестационарності поведінки виміряних траєкторій вибірок біосигналу та спеціального їх попереднього опрацювання перед оцінюванням статистик.

Типовою процедурою оцінювання є усереднення (когерентна фільтрація, оцінювання моменту першого порядку функції розподілу імовірності значень траєкторії біосигналу) [5]. Тому природна нестационарність біосигналів вимагає спеціального забезпечення когерентності відгуків в ансамблі для підвищення якості оцінювання та достовірності отриманої оцінки. З оглядом на такий стан проблеми вибрано рішення задачу автоматизації синхронізації вибірок біосигналу в ансамблі розв'язувати шляхом попередньої обробки ансамблю.

Встановлено комп'ютерним моделюванням ансамблю типових відгуків біооб'єкту (коливного, зашумленого, зі заспокоєнням, характеру)

$$x_k(mT_d) = \exp(-\alpha mT_d) \sin(2\pi mT_d / \mu) + n(mT_d) = s(mT_d) + n(mT_d),$$

прихованого на початку:

$$x_k(mT_d) = \begin{cases} n(mT_d), & 0 < m \leq l_k(mT_d) \\ s(mT_d), & l_k(mT_d) < m < M \end{cases}$$

де  $T_d$  — період дискретизації,  $\mu$  — кількість відліків на період коливач,  $n(mT_d)$  та  $l_k(mT_d)$  — різні нормальні дискретні процеси,  $k=1, 2, 3, \dots, K$  — індекс відгуку в ансамблі, що оцінювання математичного сподівання ансамблю некогерентних вибірок властиве більше середньоквадратичне відхилення ніж для ансамблю, в якому попередньо забезпечено їх когерентність (за відомими значеннями  $l_k$ ), причому, збільшення кількості  $K$  вибірок не ефективно для покращення цієї оцінки.

Для автоматизованого забезпечення когерентності вибірок використано метод, базований на концептуальній підставі — симетрії ансамблю відносно площини, яка розділяє його на два рівних за кількість вибірок ансамблі [6].

Для автоматизованої симетризації ансамблю відгуків використано їх зсуви шляхом їх реєстрації, починаючи з моменту закінчення латентного часу  $l_k$ . Останній визначався, (а) — за значенням відгуку, яке перевищило пороговий рівень, що залежав від статистик шуму  $n(mT_d)$ . Отримано середньоквадратичне відхилення математичного сподівання ансамблю з попередньо забезпеченою когерентністю вибірок за значеннями  $l_k$ , визначеними за моментом перевищення рівня суми математичного сподівання та максимального значення середньоквадратичного відхилення шуму  $n(mT_d)$ , наближене до середньоквадратичного відхилення матсподівання ансамблю, в якому попередньо забезпечено когерентність вибірок за відомими значеннями  $l_k$ .

Для подальшого підвищення якості синхронізації вибірок в ансамблі біосигналів виявилось, що необхідно удосконалити оцінювання  $l_k$ . В силу вузькосмуговості відгуку та властивостей перетворення Гільберта [7] з цією метою використано (б) — попереднє представлення ансамблю цим перетворенням. Пошук значень  $l_k$  виконувався тоді за математичним сподіванням амплітудних або фазових характеристик [8].

Результати комп'ютерного моделювання статистичних випробувань за критерієм Неймана-Пірсона некогерентного (0-гіпотеза) та когерентних (за дослідженими методами забезпечення когерентності) ансамблів  $x_k(mT_d)$  (де  $K = 64$ ,  $M = 256$ ,  $\alpha = 0.02$ ,  $\mu = 128$ , шум  $n(mT_d)$  з матсподіванням  $M_n = 0$  та дисперсією  $D_n = 0.1$ , матсподівання  $M_l = 20$ , дисперсія  $D_l = 5$ ) отримано графіки залежності ймовірності  $P_d$  достовірної оцінки значень матсподівання  $M_x$  ансамблю від значень середнього середньоквадратичного відхилення (с.с.в.) їх при ймовірностях  $P_f = 0.001, 0.01, 0.1$  відхилення оцінки. У таблиці наведено ймовірності  $P_d$  для значення с.с.в. = 0.26 та  $P_f = 0.01$ .

Ансамбль відгуків:	$P_d$
некогерентних,	0.8112
когерентних — (а),	0.8204
Когерентних — (б).	0.8248

Отже, отримано можливість подальших досліджень результатів забезпечення когерентності вибірок біосигналу в ансамблі як наведеними, так й іншими методами.

**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: 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 Ophthalmol., 1954. — Vol. 51, №3. — P.369–374.
5. Armstrong RA. Statistical guidelines for clinical studies of human vision / RA. Armstrong, LN Davies, MCM Dunne & B Gilmartin // Ophthalmic Physiol. Opt., 2011: 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, February 25 – March 1, 2014. — Lviv-Slavske, 2014. — P. 714.
7. Щербак Л.М. Статистична фазометрія: наукова монографія / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак / 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.

**Анотація**

Досліджено способи 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.

**Аннотация**

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.

**Abstract**

Ways for ensure the coherences of the responses after the excitations of biological object in their general sample (in the ensemble) were explored. The results of computer simulation of statistical test were obtained. The quality improvement of the mathematical expectation estimation 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, coherences, processing, quality, estimate.