

УДК 319.216 159.98:616-71

Сверстюк А.С., Творко М.В.

Тернопільський державний медичний університет ім. І.Я. Горбачевського

**ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРОБКИ СИНХРОННО
ЗАРЕЄСТРОВАНИХ БІОСИГНАЛІВ В ПОЛІГРАФАХ**

Sverstyuk AS, Tvorko MV

**SOFTWARE FOR SYNCHRONOUS REGISTERED PROCESSING BIOSIGNALS IN
POLYGRAPH**

Вступ. Функціонування організму людини як біофізичної системи супроводжується генеруванням електричних, магнітних, механічних полів, змінами дихання, тиску, шкірно-гальванічної реакції, оптичної густини тканин, що у своїй просторово-часовій структурі відображають функціональний стан психофізіологічної системи людини і дають змогу проводити її діагностику та тестування.

Ідеї застосування обстеження на поліграфі ґрунтуються на фактах, що коли людина говорить неправду, змінюються характеристики біосигналів, в зв'язку з неузгодженістю реальної дійсності і модульованої неправдивої інформації.

Поліграф є комплексом, що складається з давачів, сенсорного блоку, комп'ютера та сучасного програмного забезпечення, яким керує фахівець-поліграфолог. Поліграф забезпечує прийом біосигналів від давачів по 7-12 незалежних каналах, що дозволяє реєструвати фотоплетизмограму, шкірно-гальванічну реакцію, верхнє та нижнє дихання, зміни кров'яного тиску, мовний сигнал, автоматичне оцінювання загальної напруженості обстежуваного, психологічну складову в реальному масштабі часу [1].

Повну інформацію при обстеженні на поліграфі можна отримати лише за умови паралельного використання декількох методів автоматизованої діагностики на базі ЕОМ, а отримані дані повинні розглядатися з єдиної точки зору. Такий підхід дозволяє певним чином як уніфікувати автоматизовану обробку та моделювання різних за фізичною природою біосигналів, так і підвищити достовірність, повноту діагностики обстеження на поліграфі, внаслідок використання однотипних діагностичних ознак для різних класів досліджуваних сигналів.

Більшість існуючих методів обробки біосигналів ґрунтуються на математичних моделях у вигляді вектора випадкових величин, стаціонарного випадкового процесу та стохастичного періодичного процесу. Однак, у цих математичних моделях не враховуються важливі властивості досліджуваних біосигналів – мінливість та спільність їх ритму.

Наведені вище аргументи вказують на актуальність розробки нової математичної моделі, методів сумісної статистичної обробки та імітації біосигналів на основі теорії випадкових процесів та випадкових полів, для потреб комплексного комп'ютерного обстеження на поліграфі.

Постановка завдання. Ефективність сучасних поліграфів в значній мірі залежить від апаратної та програмної складових на базі яких вони будуються. Використання різноманітних методів обробки, які закладаються в програмному забезпеченні, значно розширює функціональні можливості та підвищує достовірність обстеження на поліграфі [1]. В свою чергу методи базуються на математичних моделях які і задають можливості та специфіку обробки. Зокрема, сумісну обробку біосигналів можливо проводити лише за умови, що їх математичні моделі є певним чином узгодженими між собою і мають подібну структуру.

Робота багатьох сучасних кардіодіагностичних комплексів базується здебільшого на аналізі окремо кожного із синхронно зареєстрованих біосигналів (СЗБС). В якості прикладів розглядалися поліграфи (“Кріс”, “Риф”, “Арсенал”, “LX4000-SW”). Слід відмітити, що у наведених поліграфах та багатьох працях [2-3], не враховується спільність ритму досліджуваних СЗБС.

У розробленому програмному комплексі використано підходи до сумісної статистичної обробки та моделювання СЗБС з використанням моделей та методів теорії циклічних функціональних відношень, які описані в працях [4-6].

Основна частина. В працях [4, 5], описана математична модель СЗБС на основі вектора циклічних ритмічно пов’язаних випадкових процесів.

Згідно роботи [4], дамо означення вектора циклічних ритмічно пов’язаних випадкових процесів.

Означення 1. Вектор $\Theta_N(\omega, t)$ циклічних випадкових процесів $\left\{ \xi_i(\omega, t), i = \overline{1, N}, \omega \in \Omega, t \in \mathbf{W} \right\}$ будемо називати вектором строго ритмічно пов’язаних випадкових процесів, а самі процеси строго ритмічно пов’язаними, якщо існує така функція $T(t, n)$, яка задовольняє умовам функції ритму, що скінченновимірні вектори $\left\{ \xi_{i_1}(\omega, t_1), \xi_{i_2}(\omega, t_2), \dots, \xi_{i_k}(\omega, t_k) \right\}$ та $\left\{ \xi_{i_1}(\omega, t_1 + T(t_1, n)), \xi_{i_2}(\omega, t_2 + T(t_2, n)), \dots, \xi_{i_k}(\omega, t_k + T(t_k, n)) \right\}$ $n \in \mathbf{Z}, i_1, \dots, i_k = \overline{1, N}$, де $\{t_1, \dots, t_k\}$ - множина сепарабельності вектора $\Theta_N(\omega, t)$, при всіх цілих $k \geq 1$ є стохастично еквівалентними у широкому розумінні.

Областю визначення \mathbf{W} вектора циклічних ритмічно пов’язаних випадкових процесів може бути або впорядкована дискретна $\mathbf{W} = \mathbf{D} = \left\{ t_{ml} \in \mathbf{R}, m \in \mathbf{Z}, l = \overline{1, L} \right\}$ або

неперервна $\mathbf{W} = \mathbf{R}$ множина дійсних чисел. У випадку дискретності області визначення $\mathbf{W} = \mathbf{D}$ для її елементів має місце такий тип лінійного упорядкування: $t_{m_1 l_1} < t_{m_2 l_2}$, якщо $m_2 > m_1$, або якщо $m_2 = m_1$, а $l_2 > l_1$, в інших випадках $t_{m_1 l_1} > t_{m_2 l_2}$; $m_1, m_2 \in \mathbf{Z}, l_1, l_2 \in \overline{1, L}$. Причому $0 < t_{m, l+1} - t_{m, l} < \infty$.

Функція ритму $T(t, n)$ визначає закон зміни часових інтервалів між однофазними значеннями вектора циклічних ритмічно пов’язаних випадкових процесів. Функція ритму задовільняє таким умовам:

- a) $T(t, n) > 0$, якщо $n > 0$ ($T(t, 1) < \infty$);
- b) $T(t, n) = 0$, якщо $n = 0$;
- c) $T(t, n) < 0$, якщо $n < 0, t \in \mathbf{W}$;

для будь-яких $t_1 \in \mathbf{W}$ та $t_2 \in \mathbf{W}$, для яких $t_1 < t_2$, для функції $T(t, n)$ виконується строга нерівність:

$$T(t_1, n) + t_1 < T(t_2, n) + t_2, \forall n \in \mathbf{Z}; \quad (2)$$

функція $T(t, n)$ є найменшою за модулем ($|T(t, n)| \leq |T_\gamma(t, n)|$) серед усіх таких функцій $\{T_\gamma(t, n), \gamma \in \Gamma\}$, які задовольняють (1) та (2).

У частинному випадку, якщо функція ритму $T(t, n) = n \cdot T$ ($T > 0, n \in \mathbf{Z}$), то вектор $\Theta_N(\omega, t)$ будемо називати вектором T -періодично пов’язаних випадкових процесів.

Розглянемо властивості деяких ймовірнісних характеристик вектора $\Theta_N(\omega, t)$ циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. Так, для його сумісної k -вимірної функції розподілу має місце рівність:

$$F_{k_{\xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}}(x_1, \dots, x_k; t_1, \dots, t_k) = F_{k_{\xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}}(x_1, \dots, x_k; t_1 + T(t_1, n), \dots, t_k + T(t_k, n)), n \in \mathbf{Z}, i_1, \dots, i_k = \overline{1, N}, t_1, \dots, t_k \in \mathbf{W}. \quad (3)$$

Змішана центральна моментна функція порядку $p = \sum_{j=1}^k R_j$:

$$r_{p_{\xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}}(t_1, \dots, t_k) = \mathbf{M} \left\{ \left(\xi_{i_1}(\omega, t_1) - m_{\xi_{i_1}}(t_1) \right)^{R_1} \dots \left(\xi_{i_p}(\omega, t_k) - m_{\xi_{i_k}}(t_k) \right)^{R_k} \right\} = r_{p_{\xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}}(t_1 + T(t_1, n), \dots, t_k + T(t_k, n)), t_1, t_2, \dots, t_k \in \mathbf{W}, i_1, \dots, i_k = \overline{1, N}, n \in \mathbf{Z}. \quad (4)$$

В роботах [4,6,7] обґрунтовано методи інтерполяції, передисретизації біосигналів та функції ритму. Враховуючи результати попередніх досліджень [8], розроблено програмний комплекс, що дає змогу проводити статистичну обробку СЗБС, структурна схема якого приведена на рис.1.

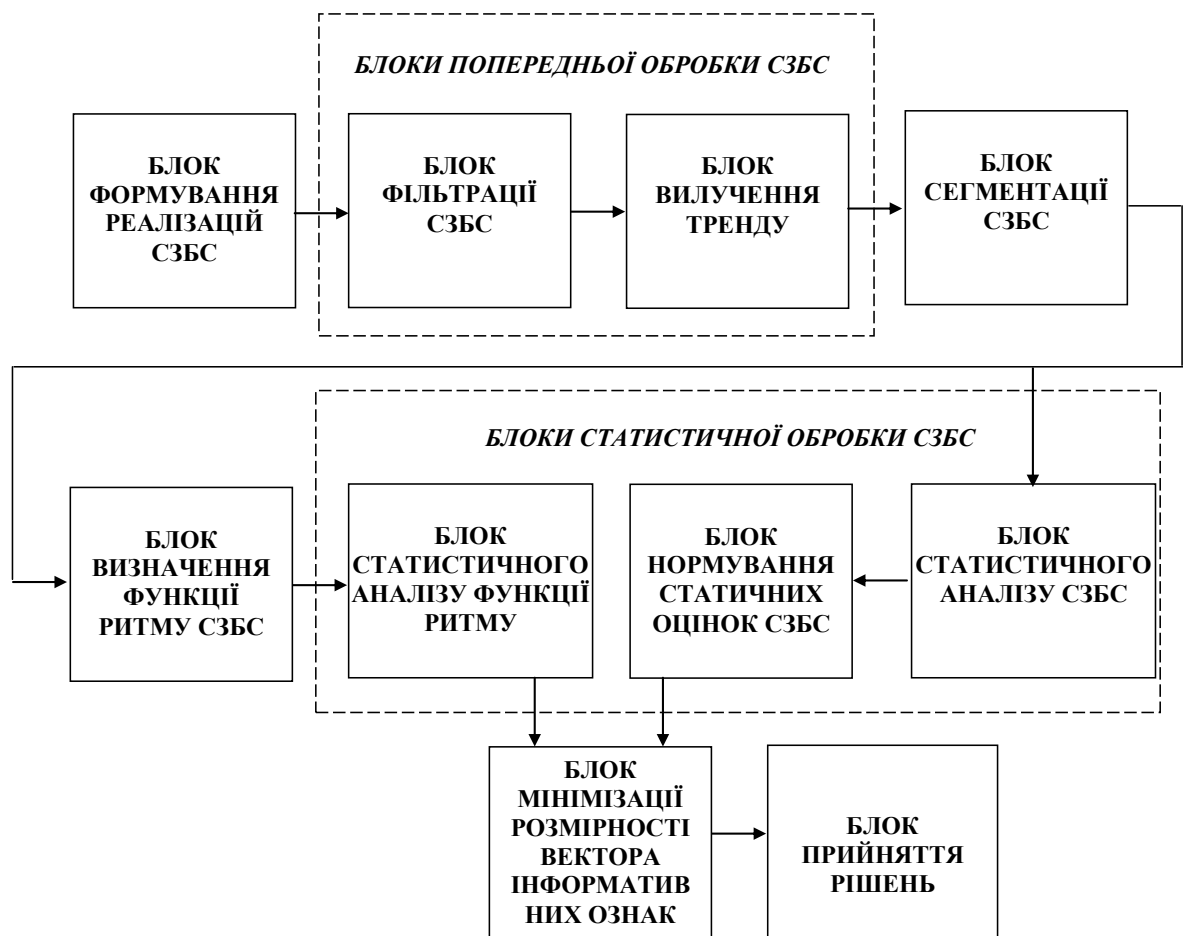


Рис.1. Структурна схема програмного комплексу для статистичної обробки СЗБС.

У блоці формування реалізацій СЗБС використовувалися експортовані синхронно зареєстровані їх значення з поліграфа “Арсенал”. Блоки попередньої обробки призначені для фільтрації та вилучення тренду із СЗБС. Блок сегментації використовується для отримання зонно-часової структури СЗБС з метою визначення їх функцій ритму. Блоки статистичної обробки призначені для нормування статистичних оцінок, аналізу функції ритму та досліджуваних біосигналів. Блок мінімізації розмірності вектора інформативних ознак необхідний для мінімізації їх кількості, що репрезентує норму або певну патологію ССС. Блок прийняття рішень дає змогу підвищити точність та достовірність обстеження на поліграфі по СЗБС.

Висновки. Таким чином розроблений комплекс програм дозволяє проводити статистичну обробку СЗБС в поліграфах і отримувати оцінки математичного сподівання, дисперсії, автокореляційної та сумісної кореляційної функцій (з врахуванням функції ритму, та з врахуванням періоду). Даний програмний комплекс може бути використаний як складова частина сучасних поліграфів з метою підвищення достовірності та повноти обстеження на поліграфі, внаслідок використання однотипних діагностичних ознак для різних класів досліджуваних сигналів.

Література

1. Сверстюк А.С. Огляд поліграфів та методів обробки психофізіологічної інформації / А.С. Сверстюк // Медична інформатика та інженерія, №2, 2011. – С. 44-48.
2. Pavlidis, I. ; Houston Univ., TX, USA ; Levine, J. Thermal image analysis for polygraph testing Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE (Volume:21 , Issue: 6) p. 56 – 64.
3. Li Jiang ; Zhuo Qing ; Wang Wenyuan A novel approach to analyze the result of polygraph Systems, Man, and Cybernetics, Nashville, TN 2000 IEEE International Conference on (Volume:4) p. 2884 – 2886.
4. Лупенко С., Студена Ю. Математичне моделювання сигналів серця в задачах технічної кардіометрії на базі їх моделі у вигляді циклічного випадкового процесу //Вісник Тернопільського державного технічного університету.- 2006. -Т. 11, №1. -С.134-142.
5. Лупенко С. Циклічне функціональне відношення як основа математичного формалізму теорії моделювання та аналізу циклічних сигналів //Вісник Тернопільського державного технічного університету.- 2007. -Т. 12, №3. -С.183-195.
6. Лупенко С.А., Литвиненко Я.В., Сверстюк А.С. Статистичний сумісний аналіз біосигналів на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів // Електроніка та системи управління (Національний авіаційний університет), №4(18), 2008, с.22-29.
7. Сверстюк А.С. Статистичні методи обробки синхронно зареєстрованих кардіосигналів / А.С. Сверстюк // Медична інформатика та інженерія, №2, 2008. – С. 54-57.
8. Литвиненко Я.В. Програмний комплекс для обробки та моделювання синхронно зареєстрованих кардіосигналів з використанням моделей та методів теорії циклічних функціональних відношень / Я. В. Литвиненко, С. А. Лупенко, А. С. Сверстюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5. – С. 80–87.